



دانشگاه صنعتی شریف
دانشکده مدیریت و اقتصاد

گزارش پروژه درس اقتصادسنجی یک

قیمت گذاری کربن منجر به نوآوری می شود؟ : شواهدی از اجرای آزمایشی منطقه ای بازار
کربن در چین

نگارش:

سیدمهدی حسینی معصوم (۹۹۲۰۲۵۳۴)

سیدمحمد مهدی حسینی گهر (۹۹۲۰۳۰۴۷)

استاد درس:

دکتر محمد وصال

تابستان ۱۴۰۰

به امید رسیدن به محیط زیستی

پایدار و سالم

برای همه انسان ها ...

چکیده:

مقاله پیش رو که بازانجام پژوهشی است که کوی و همکاران در سال ۲۰۱۸ با داده‌های مربوط به کشور چین انجام داده‌اند در تلاش است تا اثر اجرای برنامه‌ی مبادله آلاینده‌ی را بر روی افزایش نوآوری‌ها کم‌کربن (سبز) در بخش‌های صنعتی‌ای که مشمول سیاست مذکور می‌باشند و در مناطقی که این سیاست اجرا شده است بررسی کند. ما در این مطالعه یافتیم که اولاً داده‌های پژوهش کوی و همکاران خالی از اشکال نبوده فلذا نتایج آنان کاملاً مورد تأیید نمی‌باشد. با اصلاحاتی که انجام شد دریافتیم که نتیجه این پژوهش بستگی به معیار اندازه‌گیری افزایش نوآوری‌های کم‌کربن دارد. اگر معیار خود را نسبت این حق امتیازهای کم‌کربن ثبت شده به کل حق امتیازهای بنگاه در نظر بگیریم اثر یاد شده مثبت و معنادار است. اما در صورتی که از معیار لگاریتم تعداد حق امتیازهای کم‌کربن ثبت شده استفاده شود با داده‌های مذکور نمی‌توان اثر معناداری یافت.

کلمات کلیدی: ETS – نوآوری کم‌کربن – چین

فهرست مطالب:

۱	بخش اول:
۲	مقدمه
۳	بخش دوم:
۴	طرح موضوع
۶	مرور ادبیات
۷	مبانی نظری مدل تفاضل سه گانه
۱۱	بخش سوم:
۱۲	داده ها و متغیرها
۱۶	بخش چهارم:
۱۷	مدل مسئله و نتایج
۲۱	بررسی اثر هر سال
۲۳	بخش پنجم:
۲۴	آزمون پایداری ضرایب
۲۴	آزمون دارونما
۲۵	آزمون معناداری ضرایب
۲۷	بخش ششم:
۲۸	جمع بندی و نتیجه گیری
۲۹	منابع
۳۰	پیوست ها

فهرست جدول‌ها:

جدول ۱-۳	تعریف متغیرهای مورد استفاده.....	۱۲
جدول ۲-۳	خلاصه آماری متغیرهای مسئله.....	۱۳
جدول ۱-۴	نتایج اجرای مدل تفاضل سه گانه معادله ۱-۴.....	۱۹
جدول ۲-۴	نتایج اجرای مدل تفاضل در تفاضل معادله ۲-۴.....	۲۰
جدول ۳-۴	نتایج اجرای مدل تفاضل در تفاضل معادله ۳-۴ / بررسی کارایی بازار کربن بر نوآوری.....	۲۱
جدول پیوست- ۱	Effect on Each year.....	۳۰
جدول پیوست- ۲	Adding controls and trend.....	۳۱
جدول پیوست- ۳	Robustness check.....	۳۱
جدول پیوست- ۴	Robustness check price turnover.....	۳۲

فهرست شکل‌ها:

- شکل ۱-۲ نقشه اجرای مالیات کربن و مبادله آلاینده‌گی در جهان (بانک جهانی، ۲۰۲۱)..... ۵
- شکل ۲-۲ وضعیت دو گروه A و B در ایالت Treatment..... ۸
- شکل ۳-۲ وضعیت دو ایالت treatment و control در گروه B..... ۹
- شکل ۴-۲ وضعیت دو ایالت treatment و control در گروه B..... ۹
- شکل ۱-۳ میانگین نسبت حق امتیازهای کم کربن ثبت شده به کل حق امتیازها در بخش‌های اجرا شده و اجرا نشده..... ۱۴
- شکل ۲-۳ میانگین نسبت حق امتیازهای کم کربن ثبت شده به کل حق امتیازها در صنایع تحت پوشش و سایر صنایع..... ۱۴
- شکل ۱-۴ میزان افزایش نسبت حق امتیازهای کم کربن به کل حق امتیازها نسبت به سال پایه (۲۰۰۳)..... ۲۲
- شکل ۱-۵ نتیجه اجرای آزمون دارونما برا نسبت حق امتیازهای کم کربن به کل حق امتیازها..... ۲۴
- شکل پیوست-۱ نتیجه اجرای آزمون دارونما برا لگاریتم حق امتیازهای کم کربن..... ۳۲
- شکل ۲-۴ میزان افزایش لگاریتم حق امتیازهای کم کربن نسبت به سال پایه (۲۰۰۳)..... ۳۳
- شکل ۳-۴ میزان افزایش حق امتیازهای غیر کم کربن نسبت به سال پایه (۲۰۰۳)..... ۳۳

بخش اول:

مقدمه (تجزیه و تحلیل اولیه و ارائه خطوط اصلی گزارش)

مقدمه

از بعد از انقلاب صنعتی و افزایش و مکانیزه شدن تولید مسئله آلاینده‌ها به‌عنوان یک موضوع مهم برای جوامع تولیدکننده مطرح شد. اهمیت بررسی چگونگی مواجهه با این مسئله شاید دست کمی از خود آن نداشته باشد. عدم داشتن برنامه‌ی صحیح برای کنترل آلاینده‌ها می‌تواند سلامت جامعه و در نگاه کلی تمام زمین را با خطرات جدی مواجه کند. از طرفی محدودسازی‌های سخت‌گیرانه و غیرمنعطف احتمالاً اختلالات جدی در تولید و قیمت‌ها ایجاد خواهد کرد. به نظر می‌رسد مناسب‌ترین راه پیش روی ما اعمال سیاست‌هایی مبتنی بر مکانیزم بازار باشد. در دنیا سیاست‌های گوناگونی از این دست اجرا شده است که در ادبیات به تفصیل به بررسی آثار آنها پرداخته شده است. یکی از این سیاست‌ها که به مبادله آلاینده‌ها مشهور است در اینجا مورد مطالعه قرار گرفته است. در اینجا قصد داریم با ارائه یک چارچوب نظری قوی و بر اساس مدل تفاضل سه‌گانه اثر اجرای این سیاست در کشور چین را طی سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۵ بر روی افزایش نوآوری‌های کم‌کربن را به کمک بازاجرای پژوهش کوی و همکاران (۲۰۱۸)^۱ مطالعه کنیم.

پس از ارائه مقدمه در بخش اول در بخش دوم این پژوهش موضوع را بیش‌ازپیش باز کرده و به جزئیات این سیاست و اهمیت آن می‌پردازیم. سپس به بررسی ادبیات این حوزه به طور مختصر پرداخته‌ایم و سعی کرده‌ایم جایگاه این پژوهش را در میان ادبیات تبیین کنیم. در انتهای بخش دوم نیز به طور مفصل به معرفی چارچوب تفاضل سه‌گانه به‌عنوان یک روش قوی برای شناسایی علی‌نتایج سیاست‌گذاری‌ها پرداخته‌ایم. در بخش سوم کار خود داده‌های مقاله مرجع را به تفصیل بررسی و موشکافی کرده‌ایم و در گزارش این بخش برخی آماره‌های توصیفی و نمودارهایی که شهود خوبی از روند داده‌ها به ما می‌دادند را به همراه معرفی متغیرها آورده‌ایم. در همین جا بود که با مشکلی در این داده‌ها مواجه شدیم. البته توضیح این مشکل و راه‌حل خود برای حل آن را در بخش چهارم آورده‌ایم. در بخش چهارم مدل‌ها را به همراه گزارش نتایج استخراج شده توسط نرم‌افزار را آورده‌ایم و تحلیل خود را از ضرایب آن ذکر کرده‌ایم. در بخش پنجم این پژوهش پایداری ضرایب بدست آمده را به دو طریق آزمون دارونما و بررسی تعریف محدودتر متغیرها آزموده‌ایم. همچنین آزمون معناداری برخی ضرایب را نیز در همین بخش گزارش کرده‌ایم. در انتها و در بخش ششم کار خود جمع‌بندی مختصری از این پژوهش را ارائه داده‌ایم.

¹ Cui, et al., 2018

بخش دوم:

طرح موضوع (سؤال، تئوری، فرضیه و مرور ادبیات مختصر)

طرح موضوع

امروزه چالش‌های زیست‌محیطی یکی از اصلی‌ترین دغدغه‌های مطرح شده در محافل بین‌المللی و داخلی هر کشور می‌باشد. در این میان یکی از نگرانی‌های اصلی هزینه‌های وارد شده به اقتصاد و برهم زدن رقابت‌های اقتصادی برای مقابله با آلودگی‌ها است. یکی از راه‌های پیش روی کشورها برای پاسخ به این نگرانی اجرای برنامه‌های کنترل آلودگی مبتنی بر مکانیزم بازارهاست (کاستنتینی و همکاران، ۲۰۱۶).^۲ برنامه‌های مبادله آلودگی در چند دهه گذشته نقش برجسته‌ای در سیاست‌های زیست‌محیطی ایفا کرده‌اند. به طور مثال در ایالات متحده آمریکا برنامه‌های باران اسیدی^۳ (ARP)، طرح گازهای گلخانه‌ای منطقه‌ای^۴ (RGGI) و برنامه کنترل و تجارت کالیفرنیا^۵ مثال‌هایی از این روند می‌باشند. همچنین استرالیا، نیوزلند و استان کبک در کانادا هر یک برنامه‌های مخصوص خود را برای مبادله آلودگی‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای اجرا کرده‌اند. در این راستا کشورهایی نظیر چین، ژاپن، کره جنوبی، برزیل، مکزیک و شیلی نیز هر یک برنامه‌های مشخصی در جهت اجرای این سیاست‌ها را در دست اقدام دارند (کال و دوشیلوپختخ، ۲۰۱۶).^۶

از سوی دیگر یکی از راهکارهای مهم و تأثیرگذار در کاهش و کنترل آلوده‌ها افزایش نوآوری‌ها در فناوری‌های سبز (کم‌کربن)^۷ می‌باشد. به بیان دیگر استفاده از فناوری‌های سبز یکی از مقرون‌به‌صرفه‌ترین روش‌ها برای کاهش فشار زیست‌محیطی بدون برهم زدن رقابت‌های اقتصادی می‌باشد. در دهه گذشته مجامع سیاست‌گذاری و علمی توجه روزافزونی به اهمیت نقش نوآوری‌های فنی در رویارویی با چالش‌های زیست‌محیطی افزایش آلودگی‌ها نشان داده‌اند (کاستنتینی و همکاران، ۲۰۱۶). پس پاسخ به این سؤال که اجرای سیاست‌های کنترل آلودگی مبتنی بر مکانیزم بازار تا چه میزان می‌تواند منجر به افزایش نوآوری در فناوری‌های سبز گردد اهمیت قابل‌توجهی دارد. در واقع سؤال اصلی این پژوهش بررسی اثر طرح مبادله مجوز آلودگی^۸ یا به طور خلاصه ETS در کشور چین است. به بیان دیگر در این پژوهش قصد داریم آزمون کنیم که آیا ضریب مدل تفاضل سه‌گانه که در ادامه بیشتر توضیح داده خواهد شد، معنی‌دار است یا خیر.

^۲ Costantini, et al., 2016

^۳ Acid Rain Program

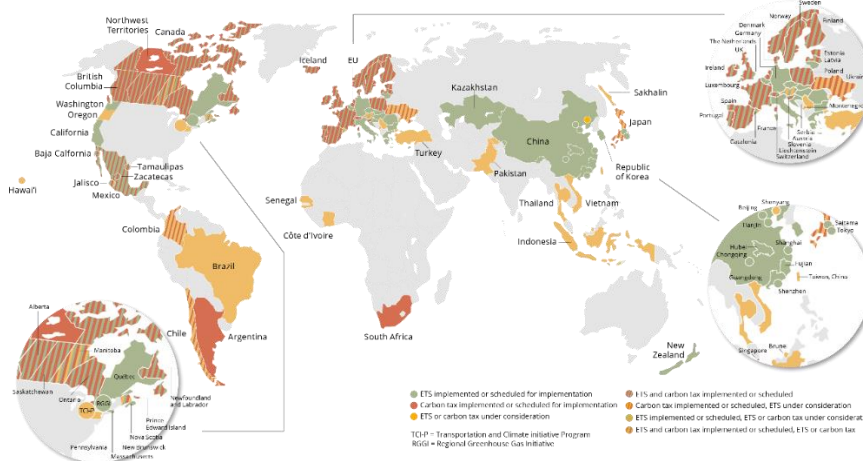
^۴ Regional Greenhouse Gas Initiative

^۵ California's cap-and-trade

^۶ Cael and Dechezleprêtre 2016

^۷ Green or Low Carbon Innovation

^۸ Emission Trading Scheme



شکل ۱-۲ نقشه اجرای مالیات کربن و مبادله آلاینده‌گی در جهان (بانک جهانی، ۲۰۲۱).

بررسی این موضوع در کشور چین حائز اهمیت است، چرا که در سال‌های اخیر این کشور با چالش دوگانه‌ای روبرو گردیده است، از یک سو قصد دارد رشد اقتصادی شتابان خود را حفظ کند و از سوی دیگر باید میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را کاهش دهد. یکی از راه‌حل‌هایی که دولت چین برای دسترسی به این هدف اتخاذ کرده است، طرح مبادله‌ی مجوز آلاینده‌گی است. در این طرح که فعلاً به صورت آزمایشی اجرا می‌شود، دولت چین از سال ۲۰۱۳ هفت بازار منطقه‌ای برای کربن را راه‌اندازی کرده است؛ دولت‌های محلی در هر یک از این مناطق برای انتشار مقدار مشخصی گازهای گلخانه‌ای مجوز صادر می‌کنند و در اختیار بنگاه‌ها قرار می‌دهند. بنگاه‌هایی که بیش از میزان مجوزی که در اختیار دارند گاز گلخانه‌ای تولید می‌کنند باید مجوزهای اضافی را در یک بازار ثانویه از بنگاه‌هایی که مجوز مازاد دارند خریداری کنند. میزان مجوزهای صادر شده برای این ۷ منطقه در حدود ۱,۲ میلیارد تن دی‌اکسیدکربن در هر سال است که برابر با ۱۱,۴ درصد از کل میزان انتشار دی‌اکسیدکربن در چین است. صناعی که بیش از مجوزی که خریداری کرده‌اند آلاینده تولید کنند با انواع جریمه‌ها روبرو خواهند شد. این جریمه‌ها در استان‌های مختلف متفاوت است و از جریمه‌ی مالی تا کم کردن امتیاز اعتباری بنگاه و سخت‌تر شدن دریافت وام را شامل می‌شود.

لازم به ذکر است که این طرح تمام صنایع را تحت پوشش قرار نمی‌دهد، بلکه مقامات هر استان تعدادی از صنایع را انتخاب می‌کنند و این سیاست را به آن‌ها اعمال می‌کنند. صنایع انتخاب شده اکثراً صناعی بسیار انرژی بر مانند صنایع شیمیایی، فولادی، صنعت سیمان و تولید برق هستند. نکته قابل توجه این است که به جز شانگهای، بخش‌های انتخاب شده در تمام استان‌ها بخش‌ها و صنایع غیرمتحرک هستند و منبع تولید دی‌اکسیدکربنی که قابلیت جابه‌جایی بین استان‌ها داشته باشد وجود ندارد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۷).^{۱۱}

شایان ذکر است که توجه به موضوع مورد مطالعه در این مقاله می‌تواند آثار مثبتی برای کشورمان ایران (و هر کشور دیگری که به دنبال توسعه است) داشته باشد. به نظر می‌رسد وجود آلاینده‌ها بخشی جدانشدنی از فرایند تولید و توسعه در جوامع می‌باشد. پس بررسی چگونگی مواجهه با این پدیده به طوری که خللی در فرایند توسعه و عملکرد بازارها ایجاد نکند و همچنین از رشد روزافزون آلاینده‌ها جلوگیری کند یکی از الزامات جوامع در حال توسعه می‌باشد.

^{۱۱} این بازارها در شهرهای پکن، شانگهای، تیانجین و چانگ کینگ، استان‌های گوانگ‌ژو و هوبی و منطقه ویژه اقتصادی شنژن قرار دارند.

^۱ Credit Score 0

^۱ Zhang, et al., 2017 1

مرور ادبیات

در این زمینه پژوهشگران دست به انجام مطالعات مختلفی زده‌اند. در رابطه با تأثیر فناوری‌های سبز بر روی کاهش آلاینده‌ها به طور مثال لی و مین (۲۰۱۵)^۲ با بررسی داده‌های مربوط به بنگاه‌های ژاپن طی سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۱۰ دریافتند که افزایش سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه زیست‌محیطی تأثیر مثبتی بر روی کاهش آلاینده‌های کربنی و بهبود عملکرد مالی بنگاه‌ها خواهد داشت. یا در پژوهش‌های دیگری کول و همکاران (۲۰۱۳ و ۲۰۰۵)^۳ دریافتند که افزایش نوآوری‌های محیط‌زیستی در بنگاه‌های انگلیسی و ژاپنی (که در این مقاله با هزینه کرد تحقیق و توسعه سنجیده می‌شود) یکی از عوامل مؤثر در کاهش آلاینده دی‌اکسید کربن می‌باشد.

همچنین بررسی اثر سیاست‌های مختلف زیست‌محیطی بر روی کاهش آلاینده‌ها نیز مورد توجه پژوهشگران بوده است. به عنوان نمونه جانستون و همکاران (۲۰۱۰)^۴ با استفاده از داده‌ی پنل ۲۵ کشور در بازه زمانی ۱۹۷۸ تا ۲۰۰۳، به بررسی اثر سیاست‌های مختلف محیط‌زیستی بر نوآوری در زمینه‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر پرداخته‌اند. در این مقاله روند تعداد حق امتیازهای ثبت شده در کشورهای OECD در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی بادی، خورشیدی، زمین گرمایی و اقیانوسی و بیومس به طور دقیق بررسی شده است. سپس سیاست‌های مختلف این کشورها در زمینه محیط‌زیست مانند اعمال مالیات، خرید تضمینی، دادن سوبسید، حمایت از تحقیق و توسعه و مجوزهای قابل معامله برای تولید آلاینده شرح داده می‌شود و برای هر کدام از این سیاست‌ها یک متغیر مجازی یا پیوسته ساخته می‌شود. با محاسبه‌ی رگرسیون میزان حق امتیازهای ثبت شده در هر حوزه از انرژی‌های تجدیدپذیر بر متغیرهای سیاستی، میزان اثرگذاری هر سیاست بر گسترش نوع خاصی از انرژی‌های تجدیدپذیر تخمین زده شده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهند که هر سیاست تنها برای نوع خاصی از انرژی‌های تجدیدپذیر بسته به وضعیت بازار، میزان هزینه بر بودن تولید و... اثرگذار است.

در پژوهشی دیگر کال و دوشیلوپختخ (۲۰۱۶)^۵ به بررسی اثر ETS اجرا شده در اتحادیه اروپا می‌پردازند. هدف این مقاله بررسی آثار نظام تجارت آلاینده‌ها در اتحادیه اروپا بر روی تغییرات فناوری می‌باشد. محققین به عنوان نتایج این پژوهش بیان کرده‌اند که EU ETS توانسته است نوآوری‌های سبز را در بنگاه‌هایی که تحت این نظام قرار گرفته‌اند را در حدود ۱۰ درصد افزایش دهد درحالی‌که اثر مزاحمی^۶ بر روی ثبت سایر نوآوری‌ها ندارد. همچنین محققین دریافتند که EU ETS اثری بر روی ثبت اختراعات خارج از محدوده اعمال قوانین نخواهد داشت. نتایج نشان می‌دهد که EU ETS مسئول افزایش یک درصدی ثبت اختراعات سبز در مقایسه با یک سناریو پاد واقع می‌باشد.

اثرات مستقیم و غیرمستقیم ETS بر روی کاهش آلاینده‌ها و همچنین مسیرهای این اثرگذاری در برخی مقالات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. کاستنتینی و همکاران (۲۰۱۶)^۷ در پژوهش خود دو اثر مستقیم و غیرمستقیم را تعریف کرده‌اند. آنها بر اساس یافته‌های تجربی نشان می‌دهند که هر دو اثر مستقیم و غیرمستقیم بسته به فناوری اتخاذ شده و همچنین نوع آلاینده‌های مورد بررسی اثر معناداری بر روی کاهش استرس‌های زیست‌محیطی می‌گذارند. منظور از اثرات مستقیم، تأثیرگذاری مستقیم نوآوری‌های تکنولوژی در کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی و منظور از آثار غیرمستقیم تأثیرگذاری این نوآوری‌ها از طریق سرریز در بازارهای بین بخشی می‌باشد. در بخشی از نتیجه‌گیری این مقاله آمده است که اولاً قانون‌گذاری‌های زیست‌محیطی می‌تواند به عنوان محرکی برای توسعه فناوری‌های پاک باشد که این خود موتور محرک

¹ Lee and Min 2015

²

¹ Cole, et al., 2013 , 2005

³

¹ Johnstone, et al., 2010

⁴

¹ Patent

⁵

¹ Crowding Out Effect

⁶

اصلی برای کاهش آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی است. ثانیاً توسعه نوآوری‌های زیست‌محیطی ما را به سمت یک وضعیت برد - برد سوق می‌دهد که در آن گسترش فناوری‌های زیست‌محیطی باعث سرریز دانش به بخش‌های دیگر و ایجاد یک اثر مثبت در رقابت صنایع دارای تکنولوژی پیشرفته^۷ خواهد شد.

نول و همکاران (۱۹۹۹)^۸ با مرور تئوری اقتصاد پیرامون اثر تغییرات قیمت نسبی نهاده‌های تولید بر نوآوری در بنگاه‌ها، روشی برای آزمودن این نظریه توسط داده‌های تجربی ارائه می‌کنند. تئوری اقتصاد بیان می‌کند که اگر قیمت نسبی انرژی افزایش یابد، میزان شدت انرژی بر بودن اقتصاد بر اثر تغییر سلسله‌ای از رفتارها کاهش می‌یابد. مثلاً مردم کمتر رانندگی می‌کنند و درجه حرارت منزل را پایین‌تر تنظیم خواهند کرد. در بلندمدت نیز سرعت و جهت تغییرات تکنولوژیک تغییر خواهد کرد و کالاهای سرمایه‌ای از لحاظ مصرف انرژی کاراتر خواهند بود. پژوهشگران با اجرای رگرسیون میزان مصرف انرژی دستگاه‌های مختلف بر روی قیمت انرژی و سیاست‌های محیط زیستی دولت، مشاهده می‌کنند که بخشی از بهبود تکنولوژی در دستگاه‌های تهویه هوا و آب‌گرم‌کن‌ها به علت افزایش قیمت انرژی و اعمال قوانین دولت است.

البته لازم است که اشاره کنیم برخی از پژوهش‌ها وجود دارند که اثر اعمال بعضی سیاست‌های کاهش آلاینده‌های مبتنی بر بازار را کوچک یا دفعی برآورد می‌کنند. به طور مثال لانگ و بلا (۲۰۰۵)^۹ بررسی سیاست CAAA^{۱۰} اعمال شده در ایالات متحده دریافتند که تأثیر این سیاست محدود به سال‌های اولیه اجرای آن بوده است و انگیزه‌های مداومی را برای پیشرفت فناوری فراهم نکرده است.

مبانی نظری مدل تفاضل سه‌گانه

در این پژوهش برای بررسی اثر اجرای سیاست ETS بر روی افزایش فناوری‌های سبز از روش تفاضل در تفاضل در تفاضل^{۱۱} تفاضل سه‌گانه استفاده شده است. به منظور بررسی ریزه‌کاری‌های موجود در این روش در ادامه توضیحاتی پیرامون این روش و مفروضات آن آورده شده است.

مدل تفاضل سه‌گانه در سال ۱۹۹۴ توسط جاناتان گروبر^{۱۲} از دانشگاه MIT ارائه شده است. به‌طور کلی این مدل از همان منطق تفاضل در تفاضل برای شناسایی علی استفاده می‌کند، اما فروض لازم برای استفاده از این مدل بسیار ضعیف‌تر و قابل‌دسترس‌تر از فرض روندهای موازی روش تفاضل در تفاضل است. این مدل در سال‌های اخیر به‌شدت مورد توجه محققین قرار گرفته است. اولدن و موئن (۲۰۲۰)^{۱۳} برای اولین بار فرض شناسایی علی در این مدل را تئوریزه کردند. در این قسمت در قالب یک مثال به شرح مدل و فرض شناسایی علی آن می‌پردازیم.

دو ایالت در آمریکا را در نظر بگیرید. ایالت treatment قانونی را در مورد بیمه سلامت تصویب می‌کند اما ایالت control این قانون را تصویب نمی‌کند. وضعیت سلامت شهروندان دو ایالت در دو دوره قبل و بعد از تصویب این قانون

¹ High-Thech 7

¹ Newell, et al., 1999 8

¹ Lange and Bellas 2005 9

² Clean Air Act Amendments⁰

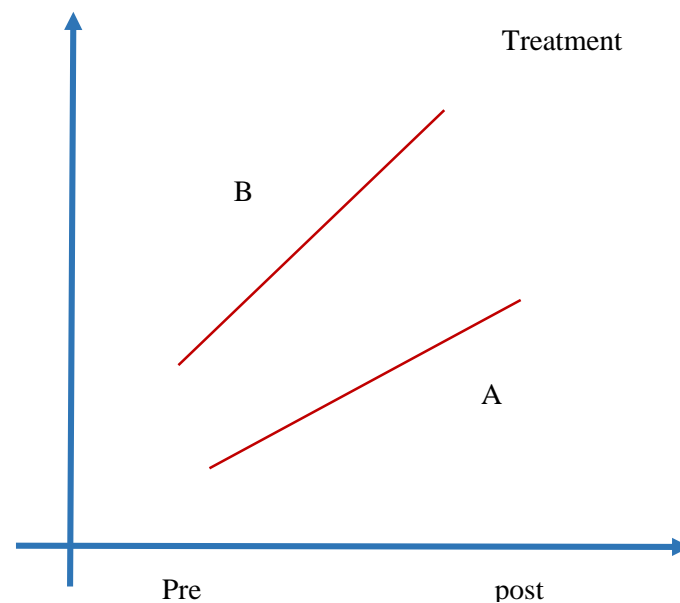
² Difference in Difference in Differences

² Gruber, J. (1994) 2

² Olden and Moen 2020 3

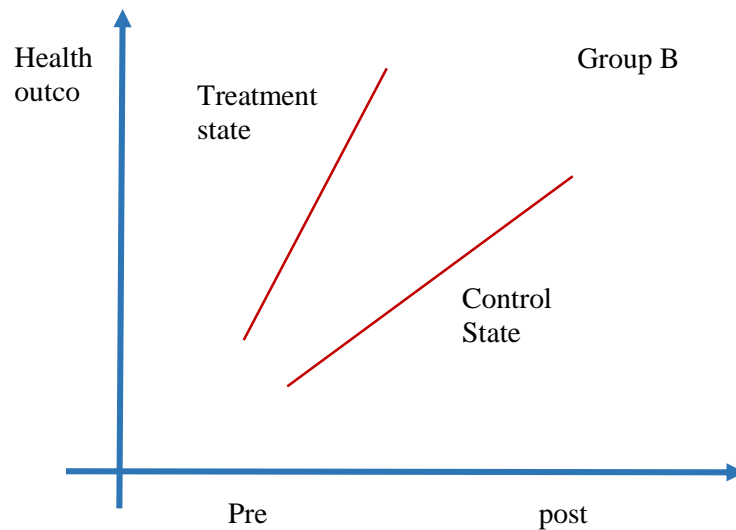
را مشاهده می‌کنیم (به ترتیب با اندیس pre و post). علاوه بر وجود دو ایالت treatment و control، شهروندان هر ایالت را می‌توان به دو دسته‌ی A و B تقسیم کرد. بیمه‌ی سلامت تنها شامل شهروندان دسته‌ی B می‌شود.

اگر قصد داشته باشیم با استفاده از روش تفاضل در تفاضل، اثر اجرای برنامه‌ی بیمه‌ی سلامت را بسنجیم، می‌توانیم وضعیت سلامت دو گروه A و B در ایالت treatment را قبل و بعد از اجرای برنامه با هم مقایسه کنیم (شکل ۲-۲). اما در صورتی که اجرای این برنامه اثرات سرریز از گروه B بر گروه A داشته باشد، دیگر تخمین‌زن تفاضل در تفاضل تخمین‌زن نارایی برای اثر علی برنامه نیست. به‌طور کلی هنگامی که اثرات تعادل عمومی^۴ داشته باشیم، تخمین‌زن تفاضل در تفاضل دیگر نارایب نخواهد بود.



شکل ۲-۲ وضعیت دو گروه A و B در ایالت Treatment.

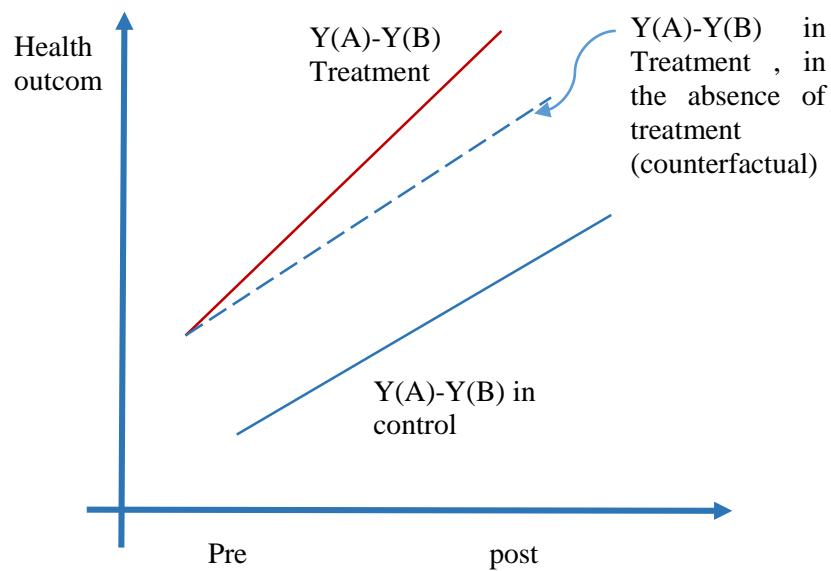
راه‌حل دیگر این است با روش تفاضل در تفاضل، وضعیت سلامت گروه B در ایالت‌های control و treatment را قبل و بعد از برنامه با هم مقایسه کنیم (شکل ۳-۲) نارایب بودن این تخمین مستلزم برقرار بودن فرض روندهای موازی است. یعنی در صورتی که برنامه اجرا نمی‌شود، روند وضعیت سلامت افراد در ایالت treatment و ایالت control موازی یکدیگر تغییر می‌کند. در صورتی که عامل دیگری به‌صورت ناهمگن بر وضعیت سلامت افراد دو ایالت اثر بگذارد، تخمین‌زن تفاضل در تفاضل اریب خواهد داشت.



شکل ۲-۳ وضعیت دو ایالت treatment و control در گروه B.

در روش تفاضل سه گانه، هر دوی این دو مسائل قابل رفع است. این روش به برقراری دو روند موازی نیازی ندارد؛ تنها لازم است در صورت عدم اجرای برنامه، تفاضل پیامدهای گروه A و B در دو ایالت روند موازی داشته باشد.

شکل ۲-۴ به روشنی این مطلب را نشان می دهد.



شکل ۲-۴ وضعیت دو ایالت treatment و control در گروه B.

باتوجه به توضیحات بالا، معادله‌ی ۱-۲ تصریح رگرسیون استاندارد برای روش تفاضل سه‌گانه است.

$$Y_{sit} = \beta_0 + \beta_1 T + \beta_2 B + \beta_3 POST + \beta_4 T * B + \beta_5 T * POST + \beta_6 B * POST + \beta_7 B * T * POST + \varepsilon_{sit} \quad (1-2)$$

معادله‌ی ۱-۲ که در آن T متغیر مجازی برای treatment و B متغیر مجازی‌ای است که نشانگر این است که افراد عضو دسته‌ی B هستند یا خیر. POST نیز متغیر مجازی‌ای است که برای زمان‌های بعد از اجرای برنامه برابر ۱ است. با جاگذاری مقادیر مختلف برای این متغیرهای مجازی می‌توان به معادله‌ی ۲-۲ برای β_7 رسید: (اندیس T و C نشانگر گروه treatment و control است)

$$\beta_7 = \frac{[(\bar{Y}_{T.B.POST} - \bar{Y}_{T.B.Pre}) - (\bar{Y}_{C.B.POST} - \bar{Y}_{C.B.Pre})]}{(treatment\ effect + heterogeneous\ effect\ on\ treatment\ and\ control)} - \frac{[(\bar{Y}_{T.A.POST} - \bar{Y}_{T.A.Pre}) - (\bar{Y}_{C.A.POST} - \bar{Y}_{C.A.Pre})]}{heterogeneous\ effect\ on\ treatment\ and\ control} \quad (2-2)$$

در معادله‌ی ۲-۲ ضریب β_7 همان تخمین‌زن تفاضل سه‌گانه است و اثر اجرای برنامه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تخمین‌زن تفاضل سه‌گانه در واقع حاصل تفاضل دو عبارت تفاضل در تفاضل است. کم کردن تفاضل در تفاضل دوم از اول، صرفاً برای از بین بردن ارباب احتمالی تفاضل در تفاضل اول است. به بیان ساده، اگر عامل دیگری پیامد افراد حاضر در گروه treatment و control گروه B را به صورت غیر همگن تحت تأثیر قرار دهد و باعث ایجاد ارباب شود، با کم کردن تفاضل در تفاضل برای گروه A که صرفاً حاوی این اثر ناهمگن - و نه اثر اجرای برنامه - است به اثر خالص اجرای برنامه می‌رسیم. به طور مشابه و با بازآرایی معادله‌ی β_7 می‌توان نشان داد که این تخمین‌زن ارباب ناشی از اثر سرریز گروه B بر گروه A را از بین می‌برد و در حضور اثرات تعادل عمومی نیز نااریب است.

کوی و همکاران (۲۰۱۸) در مقاله خود که مرجع این پروژه نیز است با الهام گرفتن از این ایده، تلاش کردند تا با استفاده از تغییراتی که بر اثر اجرای طرح قیمت‌گذاری کربن در برخی استان‌های چین ایجاد شده است، اثر علی اجرای این سیاست بر نوآوری بنگاه‌ها در زمینه فناوری‌های محیط‌زیستی را تخمین بزنند. همان گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد این سیاست صرفاً در برخی استان‌ها و همچنین صرفاً در برخی از صنایع اجرایی شده است و سایر استان‌ها و صنایع چین تحت این سیاست قرار نگرفته‌اند. پژوهشگران در این مقاله با مقایسه‌ی تعداد حق امتیازهای مرتبط با فناوری‌های سبز (کم‌کربن) قبل و بعد از اجرای این سیاست، در استان‌هایی که این سیاست اجرا شده و آن‌هایی که نشده است و همچنین صنایعی که این سیاست در مورد آن‌ها اعمال شده است و سایر صنایع، با استفاده از روش تفاضل سه‌گانه اثر علی این برنامه را تخمین می‌زنند.

بخش سوم:

داده‌ها (تحلیل مقدماتی داده‌ها، ارائه خلاصه‌های آماری داده‌ها، و توصیف متغیرها)

داده‌ها و متغیرها

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، پژوهش حاضر به دنبال شناسایی تأثیر سیاست اجرای آزمایشی برنامه ETS بر روی نوآوری‌های سبز (کم‌کربن) در مناطق اجرای این برنامه می‌باشد. به‌منظور پاسخ به این سؤال داده‌های مربوط به ۱۹۵۶ بنگاه چینی طی سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۵ جمع‌آوری شده است. این داده‌ها مربوط به بنگاه‌ها چینی است که در دو بورس سهام شانگهای و شنزن^{۲۵} در بخش خدمات و تولید قرار دارند. داده‌های مذکور از دو بانک اطلاعات چینی CSMAR^{۲۶} برای اطلاعات مالی و مشخصات بنگاه‌ها و SIPO^{۲۷} برای اطلاعات مربوط به حق امتیازهای ثبت شده استخراج شده‌اند. معرفی داده‌ها و متغیرها:

در نهایت و پس از تجمیع داده‌های دو منبع با یکدیگر داده‌های نهایی ما به‌صورت جدول ۳-۱ می‌باشد:

جدول ۳-۱ تعریف متغیرهای مورد استفاده.

ردیف	نام متغیر	توضیح
1	id	شماره منحصر به فرد هر بنگاه
2	year	سال جمع‌آوری داده
3	t_Revenue	مجموع درآمد
4	t_Assets	مجموع دارایی‌ها
5	t_CurrentLiability	مجموع بدهی‌ها
6	t_ROA	بازدهی دارایی‌ها (لگاریتم درصد)
7	t_EBIT	مجموع درآمدها قبل از مالیات و بهره
8	Industry_Code	کد مخصوص هر صنعت
9	Sector	نام هر بخش صنعتی زیرمجموعه Industry_code
11	province	نام منطقه مورد بررسی
12	ETS	متغیر مجازی قرار داشتن در منطقه اجرای ETS (۱: در ETS قرار دارد)
13	Covered	متغیر مجازی قرار داشتن در بخش صنعتی اجرای برنامه (۱: قرار دارد)
14	post	متغیر مجازی زمان (۱: بعد از اجرای برنامه)
15	price	قیمت کربن در بازارهایی که برنامه اجرا شده است. (در مناطقی که اجرا نشده است برابر صفر می‌باشد.)
16	turnover	نرخ گردش در بازارهایی که برنامه اجرا شده است. (در مناطقی که اجرا نشده است برابر صفر می‌باشد.)
17	logNon_envrAEW ^{۲۸}	لگاریتم تعداد حق امتیازهای ثبت شده فناوری‌های غیر کم‌کربن

² Shanghai and Shenzhen stock exchange

² China Stock Market and Accounting Research

² China's State Intellectual Patent Office

^{۲۸} در داده‌های لگاریتمی تعداد حق امتیازهای ثبت شده برای پرهیز از مشکل صفر شدن آرگومان لگاریتم، به صورت $\log(1+x)$ تعریف شده است که در آن x تعداد حق امتیازهای ثبت شده می‌باشد.

18	logNon_envrAE	لگاریتم تعداد حق امتیازهای ثبت شده فناوری‌های غیر کم‌کربن در تعریف محدود
19	logenvrAEW	لگاریتم تعداد حق امتیازهای ثبت شده فناوری‌های کم‌کربن
20	logenvrAEWRD	لگاریتم نسبت تعداد حق امتیازهای ثبت شده فناوری‌های کم‌کربن به هزینه کرد بخش تحقیق و توسعه
21	logenvrAE	لگاریتم تعداد حق امتیازهای ثبت شده فناوری‌های کم‌کربن در تعریف محدود
22	logenvrAERD	لگاریتم نسبت تعداد حق امتیازهای ثبت شده فناوری‌های کم‌کربن در تعریف محدود به هزینه کرد بخش تحقیق و توسعه
23	envrAEW_ratio	نسبت تعداد فناوری‌های ثبت شده کم‌کربن به کل فناوری‌های ثبت شده

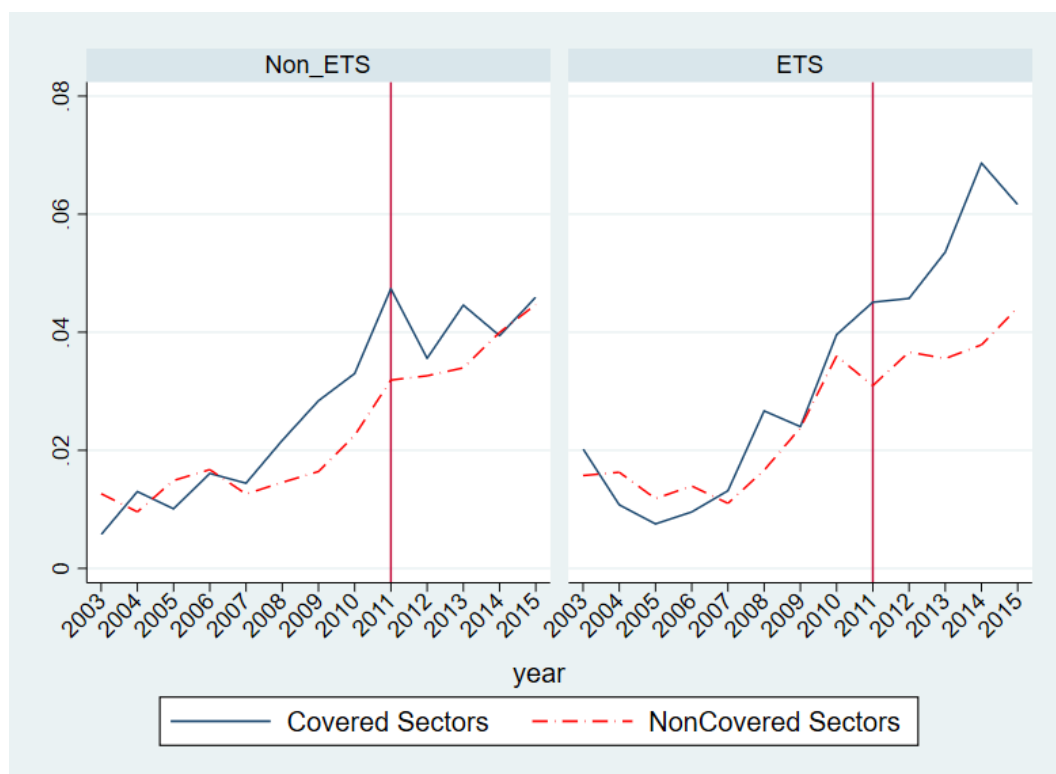
در استخراج و بررسی داده‌ها یکی از نکات قابل توجه چینی بودن زبان داده بود که در برخی موارد مانند تشخیص صنایع و بخش‌های مورد بررسی و مناطق اجرای طرح، کار را با مشکل مواجه می‌کرد. برای حل این مشکل ابتدا داده‌های موردنیاز را ترجمه کردیم که این بخش در کد پیوست قابل ملاحظه است. همچنین لازم بود پیش از انجام هرگونه محاسبات، داده‌ها به‌دقت مورد بررسی قرار بگیرند. این بررسی برای آن بود تا مطمئن باشیم آیا داده‌ها همانگونه که در تعریفشان آمده هستند یا خیر همچنین بررسی کنیم که آیا داده‌های پنلی موجود واقعاً پنل هستند یا خیر که گزارش تفصیلی آن در فایل اکسل پیوست موجود است. لازم به ذکر است که داده در یک مورد دچار نارسایی‌هایی بود که این موضوع به همراه راه‌حل آن در بخش مدل به‌تفصیل ذکر شده است.

برای داشتن دید بهتری از هر متغیر در جدول ۳-۲ آماره‌های توصیفی متغیرها را آورده‌ایم:

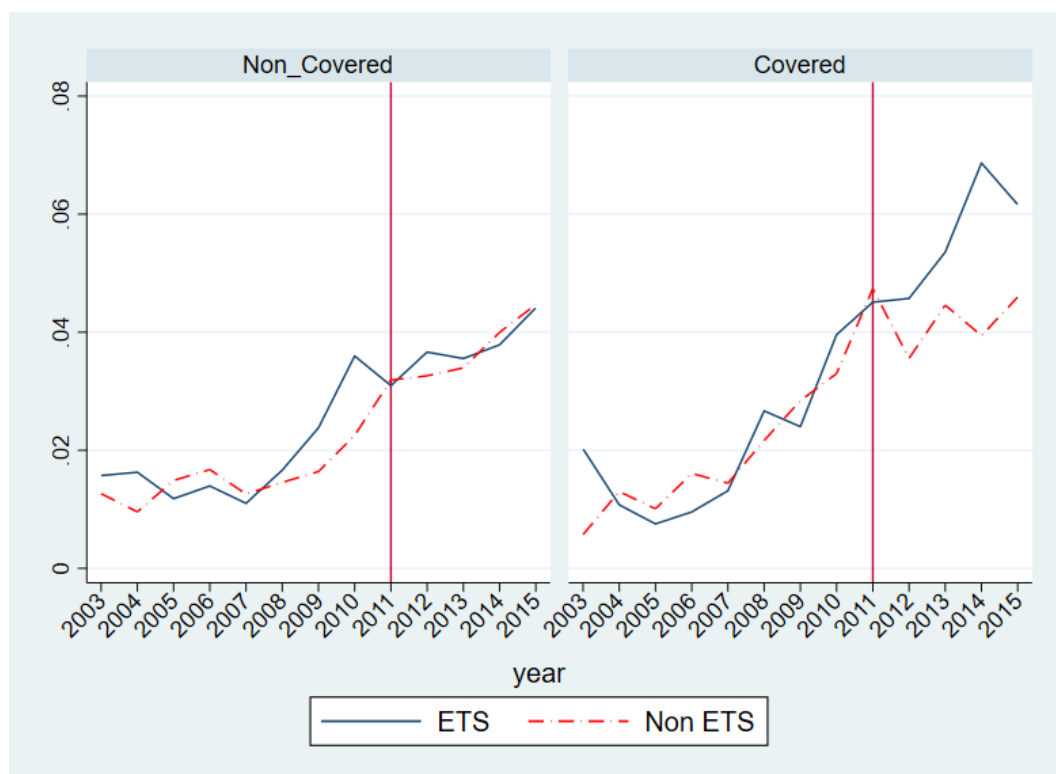
جدول ۳-۲ خلاصه آماری متغیرهای مسئله

Variable	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max
t Revenue	18806	20.87	1.487	11.599	28.689
t Assets	18813	21.369	1.369	12.314	28.509
t CurrentLiability	18812	20.271	1.53	14.526	27.193
t ROA	15737	-3.179	1.121	-11.323	-.386
logNon envrAEW	18937	1.463	1.659	0	9.213
logenvrAEW	18937	.29	.713	0	5.894
envrAEW ratio	18937	.028	.09	0	.952

برای بررسی روند ثبت حق امتیازها در مناطق اجرای طرح ETS و همچنین بخش‌های صنعتی مورد پوشش می‌توانیم نمودار میانگین متغیر envrAEW ratio را در سال‌های ۲۰۰۳ الی ۲۰۱۵ رسم کنیم و نمودارهای بدست آمده را به تفکیک مناطق اجرای طرح و همچنین بخش‌های صنعتی مورد بررسی ترسیم کنیم. این کار شهود خوبی از داده و روند تغییرات به ما خواهد داد.



شکل ۱-۳ میانگین نسبت حق امتیازهای کم کربن ثبت شده به کل حق امتیازها در بخش‌های اجرا شده و اجرا نشده.



شکل ۲-۳ میانگین نسبت حق امتیازهای کم کربن ثبت شده به کل حق امتیازها در صنایع تحت پوشش و سایر صنایع

همان‌طور که به‌خوبی مشخص است در شکل ۱-۳، میانگین مورد بررسی برای صنایعی که تحت پوشش هستند در بخش‌هایی که سیاست ETS اجرایی شده است به‌طور قابل‌توجهی روند خود را جدا کرده است. حال‌آنکه در بخش‌هایی

که سیاست اجرا نشده تا حدود خوبی روند تغییر نکرده است و تنها دچار چند شوک مقطعی شده است که می‌تواند به دلیل سرریز فناوری یا آثار روانی اجرای طرح باشد. در شکل ۳-۲ نیز با تطابق نمودارهای میانگین مورد بررسی در مناطق اجرا شده و اجرا نشده برای بخش‌های صنعتی غیر تحت پوشش می‌توان ثبات حدودی روند ثبت حق امتیاز را مشاهده کرد. این در حالی است که در بخش‌های صنعتی تحت پوشش روندها به طور قابل ملاحظه‌ای برای مناطق اجرا شده و اجرا نشده‌ی سیاست ETS باهم متفاوت‌اند.

بخش چهارم:

مدل و نتایج (ارائه تصریح مدل و مفروضات آن به همراه سایر توضیحات)

مدل مسئله و نتایج

پس از توضیحاتی که در مورد سؤال اصلی مسئله داده شد و بعد از مرور وضعیت داده‌ها و شرح تئوری مدل اجرا شده در این پژوهش، در این بخش قصد داریم تا این مدل را به‌دقت تعریف کنیم. تصریح استفاده شده در مدل این پژوهش برای پاسخ به سؤال اثر اجرای سیاست ETS بر روی افزایش نوآوری‌های کم‌کربن مطابق معادله ۴-۱ است:

$$\ln(y_{ipsct}) = \beta_1 Covered_c \times Post_t + \beta_2 ETS_p \times Post_t + \beta_3 Covered_c \times ETS_p \times Post_t + \sum_{j=control\ var} \gamma_j X_{it}^j + \alpha_i + \delta_t + \sum_{k=2}^{31} (\theta_k Prov_{k,p} \times t) + \sum_{m=2}^{195} (\mu_m Sector_{m,s} \times t) + \varepsilon_{ipsct} \quad (۱-۴)$$

که در آن y_{ipsct} معیاری از تعداد حق امتیازهای بنگاه i ام، در استان p ، در بخش s ، در کد صنعتی c و در زمان t است. متغیرهای دیگر مطابق با جدول ارائه شده در بخش داده‌ها می‌باشد. در این تصریح ضریب β_3 نشانگر اثر علی اجرای طرح ETS بر نوآوری است. X^j متغیرهای کنترلی، شامل درآمد، سود، بازده دارایی و بدهی بنگاه هستند. α و δ به ترتیب نشانگر اثر ثابت بنگاه و سال هستند. دو حاصل جمع آخر نیز برای منعطف‌تر کردن مدل و افزودن یک روند خطی زمانی برای هر استان و برای هر بخش صنعتی (Sector) قرار داده شده‌اند.

در رابطه با اثرات ثابتی که در تصریح وجود دارد و همچنین متغیرهای کنترلی خوب است که توضیحاتی را ارائه دهیم. هنگامی که از داده‌ی پنل استفاده می‌کنیم با افزودن اثر ثابت هر بنگاه می‌توانیم مشکل درون‌زایی متغیرهای ثابت در طول زمان مربوط به هر بنگاه که بر نوآوری اثر می‌گذارد را حل کنیم. همچنین با افزودن اثر ثابت سال، شوک‌هایی که در هر سال به طور مشابه به تمام بنگاه‌ها وارد می‌شود (مانند رونق و رکود، آمدن یک فناوری جدید و ...) را کنترل می‌کنیم.

در رابطه با اضافه کردن متغیرهای کنترلی می‌دانیم که وضعیت مالی بنگاه‌ها مانند میزان درآمد و سودآوری از مهم‌ترین عواملی هستند که بر میزان سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه‌ی بنگاه‌ها مؤثر باشد. با افزایش سودآوری منابع بیشتری برای تحقیق و سرمایه‌گذاری بر روی نوآوری‌های سبز در اختیار بنگاه‌ها خواهد بود؛ بنابراین باید این اثرات را کنترل کنیم تا بتوانیم افزایش نوآوری که صرفاً به علت اجرای طرح ETS بوجود می‌آید را تخمین بزنیم. بدین منظور متغیرهای درآمد، ارزش دارایی‌ها، سود، بدهی و بازده دارایی‌های هر بنگاه را به‌عنوان کنترل در نظر می‌گیریم.

در رابطه با متغیر وابسته مورد بررسی در این پژوهش می‌توانیم بین دو گزینه‌ی لگاریتم حق امتیازهای محیط زیستی ($\log envrAEW$) و سهم حق امتیازهای محیط زیستی از کل حق امتیازها ($envrAEW_ratio$) انتخاب کنیم. متغیر سهم حق امتیازهای محیط زیستی از کل حق امتیازها، متغیر مناسب‌تری به نظر می‌رسد، به این دلیل که ممکن است در استان‌هایی که طرح ETS اجرا شده است، برنامه‌های موازی‌ای مانند سوبسید دادن به نوآوری نیز اجرا شده باشد. در این صورت این برنامه‌ها باعث می‌شوند که حق امتیازهای ثبت شده بنگاه‌ها به‌طور کلی افزایش یابند و تخمین ما از اثر اجرای طرح ETS اریب داشته باشد. با استفاده از متغیر نسبت حق امتیازهای محیط زیستی به کل حق امتیازها، باتوجه به اینکه صورت و مخرج این کسر هر دو تحت تأثیر شوک‌های یکسانی هستند، می‌توان مشکل وجود برنامه‌های هم‌زمان را حل کرد. اگر این نسبت افزایش یابد یعنی اجرای ETS سمت‌وسوی نوآوری بنگاه‌ها را به سمت نوآوری‌های محیط زیستی مایل کرده است؛ بنابراین در اکثر نتایج متغیر $envrAEW_ratio$ موردنظر است. البته در ضمیمه و فایل اکسل تمام تصریح‌ها برای متغیر تعداد حق امتیازها محیط زیستی هر بنگاه ($\log envrAEW$) نیز تخمین زده شده‌اند. لازم به ذکر

است که اگر از این متغیر استفاده کنیم تأثیر اجرای ETS بر نوآوری از لحاظ آماری بی‌معنا خواهد شد که می‌تواند ناشی از اریبی باشد که پیش‌تر توضیح داده شد.

پیش از اجرای مدل‌ها لازم است به ایرادی که در داده‌ها تشخیص داده‌ایم اشاره کنیم و راه‌حلی که برای آن انجام داده‌ایم را توضیح دهیم. همان‌طور که مشخص است تصریح معادله ۴-۱ حکم می‌کند که متغیر Covered باید در تمام استان‌ها یک وضعیت داشته باشد. یعنی صناعی که تحت پوشش این برنامه قرار دارند در تمام استان‌ها مشابه باشند. مثلاً اگر صنعت تولید فولاد در استان گوانگ‌ژو تحت پوشش برنامه قرار گرفته است، در استان هوبی نیز باید صنعت فولاد تحت پوشش این برنامه قرار بگیرد. در غیر این صورت متغیر Covered در دو بعد تغییر می‌کند (صنعت و استان) و خود یک interaction term به حساب خواهد آمد و دیگر تصریح معادله ۴-۱، تصریح مناسبی برای استفاده از این داده نخواهد بود. با بررسی داده‌ها مشاهده می‌شود که دو مشکل عمده وجود دارد: نخست برخی بنگاه‌ها در داخل یک استان و داخل یک صنعت تحت پوشش برنامه قرار گرفته‌اند و برخی خیر! و مشکل دوم آن که برخی صنایع در بعضی از استان‌ها تحت پوشش برنامه قرار دارند و در بعضی استان‌ها خیر.

مورد اول عجیب به نظر می‌رسد و بنگاه‌هایی که این مشکل را دارند کم تعداد هستند (حدود ۲ درصد از داده)؛ بنابراین آن‌ها را حذف می‌کنیم. اما به مورد دوم در متن مقاله‌ی مرجع نیز اشاره شده است. استان‌های مختلف در انتخاب صناعی که تحت پوشش این برنامه قرار می‌گیرند اختیار دارند و بنابراین طبیعی است که صنعتی در یک استان تحت پوشش برنامه باشد و در استان دیگری نباشد. در این صورت تصریح معادله ۴-۱ دیگر نمی‌تواند نشان‌دهنده‌ی اثر علی اجرای برنامه باشد، اما مقاله‌ی مرجع بدون توجه به این موضوع از تصریح معادله ۴-۱ استفاده کرده است. برای حل این مورد دو راهکار اتخاذ کرده‌ایم:

راه‌حل اولی برای حل مشکل داده‌ها انجام دادیم آن است که تنها داده‌های صناعی را نگه می‌داریم که در تمام استان‌ها تحت پوشش برنامه قرار گرفته‌اند یا در تمام استان‌ها تحت پوشش برنامه نیستند و داده‌ی سایر صنایع را حذف می‌کنیم. در این صورت می‌توان از مدل تفاضل سه‌گانه‌ی تصریح معادله ۴-۱ به‌درستی استفاده کرد. لازم به ذکر است که در گزارش حاضر تمام رگرسیون‌ها و محاسبات بر مبنای این داده‌های اصلاح شده صورت پذیرفته است. البته تمام رگرسیون‌ها و محاسبات بر اساس داده‌های اصلی نیز محاسبه شده‌اند که نتایج آنها در فایل اکسل ضمیمه قابل مشاهده است.

با اجرای مدل تصریح شده در معادله ۴-۱ توسط نرم افزار استیما نتایج زیر بدست می آید:

جدول ۴-۱ نتایج اجرای مدل تفاضل سه گانه معادله ۴-۱

VARIABLES	(1) logenvrAEW	(2) logNon_envrAEW	(3) envrAEW_ratio
Coverd*ETS*post	0.149 (0.129)	0.158 (0.128)	0.028** (0.013)
Observations	10,071	10,071	10,071
R-squared	0.318	0.575	0.092
Number of id	1,080	1,080	1,080

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: تمام ستون ها شامل متغیرها کنترلی مربوط به بنگاه ها، اثرات ثابت بنگاه، اثرات ثابت سال، روند خطی سالانه استان ها و روند خطی سالانه بخش های صنعتی می باشد. خطای استاندارد گزارش شده در پرانتز در سطح بخش های صنعتی خوشه بندی شده است.

آن گونه پیش تر گفته شد مشاهده می کنیم که نتیجه گزارش شده برای متغیر سهم حق امتیازهای محیط زیستی به کل حق امتیازها معنادار است. این ضریب بدان معناست که در صورت اجرای برنامه به طور گفته شده در مناطقی که تحت پوشش هستند، سهم حق امتیازهای کم کربن به نسبت کل حق امتیازها به میزان ۲/۸ درصد برای صنایعی که تحت پوشش هستند افزایش خواهد یافت. همچنین ضریب تفاضل سه گانه برای متغیر لگاریتم حق امتیازهای ثبت شده بی معنا گزارش شده است که دلیل آن می تواند آن گونه که پیش تر توضیح داده شد باشد.

راه حل دومی که برای مواجهه با ایراد موجود در داده ها پیشنهاد می کنیم آن است که به جای استفاده از تفاضل سه گانه، مدل تفاضل در تفاضل را تخمین بزنیم. در این صورت تنها اجرای این برنامه بر روی هر بنگاه مهم خواهد بود (دریافت یا عدم دریافت treatment) و تغییرات صنایع و استان های تحت پوشش برنامه از مدل حذف می شود. برای انجام این کار تصریح معادله ۴-۲ را پیشنهاد می کنیم:

$$\ln(y_{ipsct}) = \beta_1 Treat_i \times Post_t + \sum_{j=control\ var} \gamma_j X_{it}^j + \alpha_i + \delta_t + \sum_{k=2}^{31} (\theta_k Prov_{k.p} \times t) + \sum_{m=2}^{195} (\mu_m Sector_{m.s} \times t) + \varepsilon_{ipsct} \quad (2-4)$$

در این قسمت به جای مدل تفاضل سه گانه، از یک تفاضل در تفاضل معمولی استفاده کرده ایم. بدین منظور متغیر treat را برای بنگاه هایی که هم در استان های اجرای برنامه و هم در بخش های صنعتی تحت پوشش برنامه قرار داشته اند برابر ۱ و برای سایر بنگاه ها برابر صفر قرار می دهیم. ضریب β_1 با فرض برقراری فروض شناسایی مدل، برابر با اثر علی اجرای این برنامه بر نوآوری بنگاه ها خواهد بود. جدول ۴-۲ نتایج اجرای این مدل را نشان می دهد:

جدول ۴-۲ نتایج اجرای مدل تفاضل در تفاضل معادله ۴-۲

VARIABLES	(1) DiffInDiff	(2) DiffInDiff	(3) DiffInDiff
c.treat#c.post	0.140 (0.086)	0.083 (0.141)	0.022** (0.010)
Observations	14,378	14,378	14,378
R-squared	0.296	0.583	0.088
Number of id	1,549	1,549	1,549
Dependent Variable	logenvrAEW	logNon_envrAEW	envrAEW_ratio

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: تمام ستون‌ها شامل متغیرها کنترلی مربوط به بنگاه‌ها، اثرات ثابت بنگاه، اثرات ثابت سال، روند خطی سالانه استان‌ها و روند خطی سالانه بخش‌های صنعتی می‌باشد. خطای استاندارد گزارش شده در پرانتز در سطح بخش‌های صنعتی خوشه‌بندی شده است.

بر اساس نتایج مدل در اینجا نیز مشاهده می‌کنیم که در صورت اجرای برنامه برای گروه treatment میزان سهم حق امتیازهای کم کربن به نسبت کل حق امتیازها به میزان ۲/۲ درصد افزایش خواهد یافت. در این مدل نیز ضریب تفاضل در تفاضل برای متغیر وابسته لگاریتم تعداد حق امتیازهای شده بی‌معنا می‌باشد.

برای رسیدن به پاسخ پرسش‌های مطرح شده در این پژوهش لازم است تا مدل‌های دیگری را نیز توسعه دهیم. از آنجا که این طرح در استان‌های مختلف چین به صورت کاملاً یکسان اجرا نشده است و هر استان در نحوه‌ی اجرای این طرح و طراحی بازار کربن تا حدودی اختیارات داشته است. با استفاده از تصریح ارائه شده در معادله ۳-۴ سعی می‌کنیم تا اثر میزان کارایی بازار کربن بر نوآوری را نیز تخمین بزنیم. بدین منظور از یک تصریح تفاضل در تفاضل استفاده می‌کنیم. از متغیرهای قیمت کربن و نرخ گردش مجوزها در هر استان (حجم معاملات مجوز نسبت به کل مجوزهای صادره) به عنوان متغیرهای جایگزین برای میزان کارایی بازار کربن در آن استان، استفاده شده است. لازم به توضیح است که قیمت و نرخ گردش برای زمان‌های قبل از اجرای این برنامه صفر در نظر گرفته می‌شود.

$$\begin{aligned}
 \ln(y_{ipsct}) = & + \alpha_i + \delta_t + \beta_1 Covered_c \times \ln(price_{pt}) + \beta_2 \ln(price_{pt}) \\
 & + \sum_{j=control\ var} \gamma_j X_{it}^j + \sum_{k=2}^{31} (\theta_k Prov_{k,p} \times t) \\
 & + \sum_{m=2}^{195} (\mu_m Sector_{m,s} \times t) + \varepsilon_{ipsct}
 \end{aligned} \tag{۳-۴}$$

جدول ۳-۴ نتایج اجرای این مدل را منعکس می‌کند:

جدول ۳-۴ نتایج اجرای مدل تفاضل در تفاضل معادله ۳-۴ / بررسی کارایی بازاری کربن بر نوآوری

VARIABLES	(1) logenvr AEW	(2) logNon_envr AEW	(3) envrAEW _ratio	(4) logenvr AEW	(5) logNon_envr AEW	(6) envrAEW _ratio
price	-0.002** (0.001)	-0.005** (0.002)	0.000 (0.000)			
c.Covered#c. price	0.006 (0.004)	0.008 (0.005)	0.001** (0.000)			
turnover				-2.559* (1.369)	-5.856* (2.976)	-0.186 (0.196)
c.Covered#c. turnover				7.737 (5.566)	16.123** (6.859)	1.109*** (0.382)
Observations	10,071	10,071	10,071	10,071	10,071	10,071
R-squared	0.318	0.576	0.092	0.318	0.576	0.093
Number of id	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080	1,080

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

توضیحات: تمام ستون‌ها شامل متغیرها کنترلی مربوط به بنگاه‌ها، اثرات ثابت بنگاه، اثرات ثابت سال، روند خطی سالانه استان‌ها و روند خطی سالانه بخش‌های صنعتی می‌باشد. خطای استاندارد گزارش شده در پرانتز در سطح بخش‌های صنعتی خوشه‌بندی شده است.

از نتایج گزارش شده برای مدل تفاضل در تفاضل بررسی کارایی بازارهای کربن این گونه برداشت می‌شود که افزایش یک واحدی قیمت می‌تواند به میزان یک درصد نسبت حق امتیازهای کم‌کربن به کل حق امتیازها را به طور معناداری برای بنگاه‌های تحت پوشش افزایش دهد. همچنین برای بررسی نرخ گردش مجوزها شاهد آن هستیم که افزایش یک واحدی نرخ گردش مجوزها می‌تواند باعث افزایش حدوداً ۱۱۰ درصدی نسبت حق امتیازهای کم‌کربن شود. باید توجه داشت که بزرگی این عدد به این دلیل است که افزایش یک واحدی نرخ گردش مجوزها اصولاً امری بسیار سخت و بعید به نظر می‌رسد.

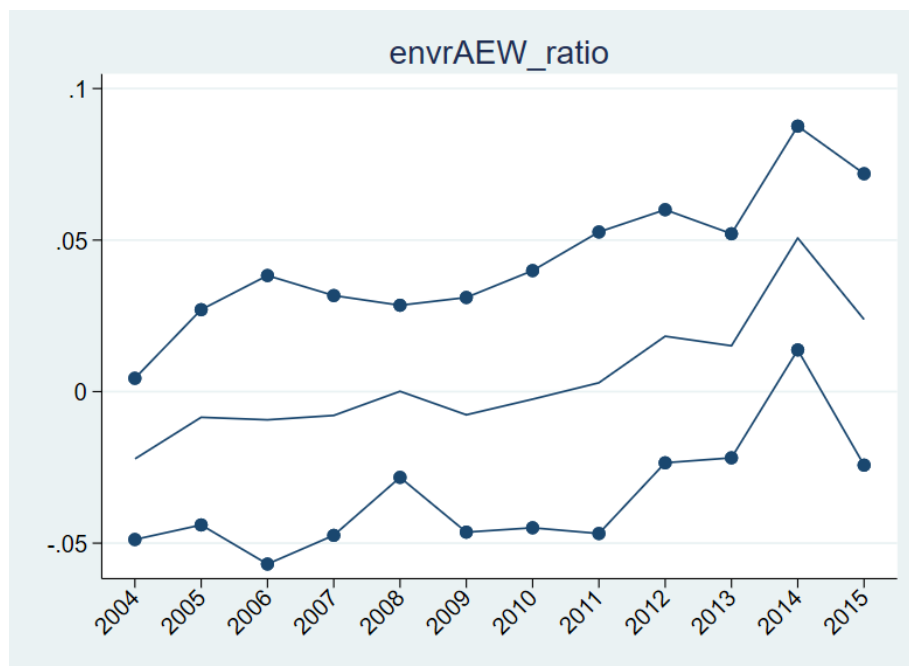
بررسی اثر هر سال

در نهایت نیز با الهام از مقاله‌ی دوفلو (۲۰۰۱)^۳، به‌جای تقسیم‌بندی داده به دو بازه‌ی زمانی pre و post، اثر این برنامه را در هر سال تخمین می‌زنیم. بدین منظور همان‌طور که در تصریح معادله ۴-۴ آمده است، به‌جای متغیر post متغیر مجازی سال (year) را در تصریح وارد می‌کنیم.

³ Duflo 2001

$$\begin{aligned}
\ln(y_{ipsct}) = & \sum_{j=2004}^{2015} \zeta_j Covered_c \times year_{tj} + \sum_{j=2004}^{2015} \beta_j ETS_p \times year_{tj} \\
& + \sum_{j=2004}^{2015} \lambda_j Covered_c \times ETS_p \times year_{tj} + \sum_{j=control\ var} \gamma_j X_{it}^j + \alpha_i \\
& + \delta_t + \sum_{k=2}^{31} (\theta_k Prov_{k.p} \times t) + \sum_{m=2}^{195} (\mu_m Sector_{m.s} \times t) + \varepsilon_{ipsct}
\end{aligned} \quad (4-4)$$

ضرایب λ_j ، میزان افزایش تعداد حق امتیازهای محیط زیستی بر اثر اجرای این برنامه در سال j ام نسبت به سال پایه (۲۰۰۳) را نشان می دهد. در شکل ۴-۱ خطوط پررنگ بالا و پایین بازه اطمینان ۹۵ درصد را مشخص میکند. خط میانی نیز مشخص کننده λ_j ها است. لازم به ذکر است که تنها ضریب سال ۲۰۱۴ از لحاظ آماری معنا دار است.



شکل ۴-۱ میزان افزایش نسبت حق امتیازهای کم کربن به کل حق امتیازها نسبت به سال پایه (۲۰۰۳)

بخش پنجم:

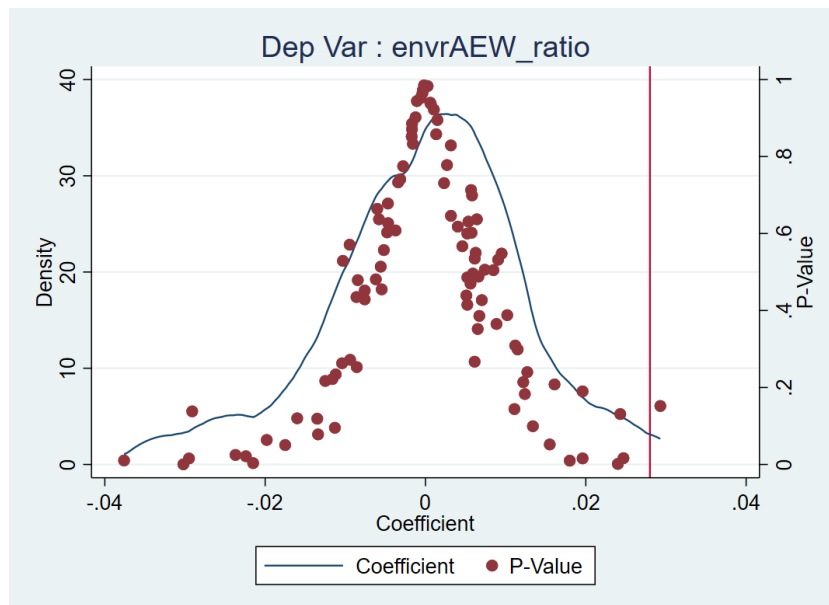
بررسی پایداری ضرایب (تخمین‌ها، آزمون فرض و تفسیر نتایج اصلی، و بررسی
پایداری ضرایب)

آزمون پایداری ضرایب

برای آزمون حساسیت نتایج به دست آمده، همانند مقاله‌ی مرجع، آزمون‌های پایداری مختلفی را انجام داده‌ایم. در گام اول متغیر وابسته را تغییر می‌دهیم تا تعداد محدودتری از حق امتیازها را شامل شود. تنها تعداد حق امتیازهای فناوری‌های مربوط به تولید انرژی جایگزین و صرفه‌جویی انرژی را به عنوان متغیر وابسته در رگرسیون استفاده می‌کنیم. با انجام این تغییرات ضریب اثر برنامه بی معنا می‌شود (ر.ک جدول پیوست ۳). باتوجه به اینکه این متغیرهای وابسته برخلاف متغیر وابسته‌ای که پیش‌تر مورد استفاده قرار گرفت، نشانگر تعداد حق امتیازهای فناوری‌های سبز (و نه درصد آن‌ها از کل حق امتیازها) هستند، بنابراین احتمالاً از مشکلاتی که پیش‌تر شرح داده شد رنج می‌برند و به همین دلیل اثر اجرای برنامه بی معنا به دست می‌آید. البته ضعف دولت چین در طراحی و اجرای این طرح نیز می‌تواند مؤثر باشد. مثلاً در بسیاری از استان‌ها تعداد مجوزهای صادر شده سخاوتمندانه بوده است و بنگاه‌ها برای حرکت به سمت نوآوری تحت فشار قرار نگرفته‌اند (ژانگ و همکاران ۲۰۱۷).

آزمون دارونما

اقدام دوم برای آزمون پایداری، انجام آزمون دارونما^۱ است. در این آزمون به طور تصادفی و مصنوعی استان‌ها و صناعی را تحت پوشش برنامه قرار می‌دهیم. رگرسیون برای ۱۰۰ تخصیص تصادفی استان‌ها و صنایع اجرا شده است. باتوجه به اینکه این استان‌ها و صنایع واقعاً treatment را دریافت نکرده‌اند، انتظار داریم در اکثر موارد ضریب اثر علی اجرای برنامه از لحاظ آماری بی معنا شود. نتایج به دست آمده نیز مطابق انتظار است. خط قرمز رنگ عمودی شکل ۵-۱ برابر با ضریب ستون سوم جدول ۴-۱ است.



شکل ۵-۱ نتیجه اجرای آزمون دارونما بر نسبت حق امتیازهای کم‌کربن به کل حق امتیازها

³ Placebo

آزمون معناداری ضرایب

در ادامه آزمون معناداری ضرایب برای برخی ضرایب بدست آمده همراه پارهای از توضیحات گزارش شده است. ابتدا در رابطه با تصریح تفاضل سه گانه بحث می کنیم:

ضریب متغیر Coverd_ETS_post برابر با اثر علی اجرای این برنامه است. آزمون معناداری این ضریب را برای سه متغیر وابسته ی تعداد حق امتیازهای کم کربن، تعداد حق امتیازهای غیر کم کربن و نسبت حق امتیازهای کم کربن به تمام حق امتیازها انجام شده است. دو ضریب اول از لحاظ آماری بی معنا و ضریب سوم در سطح ۵ درصد معنادار می باشد. یعنی در حال انجام آزمون فرضیه زیر هستیم که نتایج آن برای هر ضریب در ادامه آمده است:

$$\begin{cases} H_0: \beta_i = 0 \\ H_1: \beta_i \neq 0 \end{cases}$$

Dep var :logenvrAEW

(1) Coverd_ETS_post = 0
 $F(1, 27) = 1.33$
 Prob > F = 0.2589

Dep var : logNon_envrAEW

(1) Coverd_ETS_post = 0
 $F(1, 27) = 1.52$
 Prob > F = 0.2276

Dep var : envrAEW_ratio

(1) Coverd_ETS_post = 0
 $F(1, 27) = 4.51$
 Prob > F = 0.0431

در ادامه برای اینکه مطمئن شویم افزودن متغیرهای کنترلی بی فایده نبوده است، معناداری همزمان ضرایب تمام متغیرهای کنترلی را آزمون می کنیم. این ضرایب کاملاً معنادار هستند و فرضیه صفر بودن همزمان آن ها در سطح ۱ صدم درصد رد می شود. در واقع آزمون موردنظر که نتیجه آن ذکر شده است برابر است با:

$$\begin{cases} H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_i = 0 \\ H_1: Otherwise \end{cases}$$

(1) t_Assets = 0
 (2) t_Revenue = 0
 (3) t_ROA = 0
 (4) t_EBIT = 0
 (5) t_CurrentLiability = 0
 $F(5, 27) = 7.70$
 Prob > F = 0.0001

در تصریح تفاضل در تفاضل هم از لحاظ معناداری تفاوتی مشاهده نمی شود. ضریب اثر برنامه برای دو متغیر وابسته ی

اول بی معنا و صرفاً برای متغیر نسبت حق امتیازهای محیط زیستی به کل در سطح ۵ درصد، معناداری مشاهده می شود. در اینجا نیز می خواهیم آزمون کنیم:

$$\begin{cases} H_0: \beta_i = 0 \\ H_1: \beta_i \neq 0 \end{cases}$$

که نتایج آن به شرح زیر است.

Dep var :logenvrAEW

(1) c.treat#c.post = 0
 $F(1, 35) = 2.64$
 Prob > F = 0.1131

Dep var : logNon_envrAEW

(1) c.treat#c.post = 0
 $F(1, 35) = 0.35$
 Prob > F = 0.5591

Dep var : envrAEW_ratio

(1) c.treat#c.post = 0
 $F(1, 35) = 5.07$
 Prob > F = 0.0307

بخش ششم:

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این پروژه اثر اجرای برنامه‌ی مبادله‌ی مجوز آلاینده‌ی (ETS) در هفت استان چین بر نوآوری محیط زیستی بنگاه‌های این مناطق تخمین زده شده است. از تعداد حق امتیازهای ثبت‌شده‌ی مرتبط با فناوری‌های سبز به‌عنوان متغیر تقریب برای نوآوری بنگاه استفاده شده است. باتوجه‌به این که این برنامه تنها در برخی استان‌ها و برخی صنایع اجرا شده است، می‌توان آن را یک آزمایش شبه‌تصادفی در نظر گرفت و با استفاده از تغییرات تعداد حق امتیازهای محیط‌زیستی ثبت شده قبل و بعد از اجرای این سیاست، در استان‌هایی که این سیاست اجرا شده و آن‌هایی که نشده است و همچنین صناعی که این سیاست در مورد آنها اعمال شده است و سایر صنایع، شناسایی علی را انجام داد. تصریح‌های مختلفی برای شناسایی این اثر تخمین زده شدند.

طبق نتایج حاصل از این تخمین‌ها، اثر اجرای ETS بر نوآوری، نسبت به تعریف متغیر تقریب برای نوآوری بنگاه حساسیت دارد. اگر متغیر تقریب، نسبت حق امتیازهای کم‌کربن به کل حق امتیازها باشد اثر اجرای این برنامه بر نوآوری معنادار خواهد بود؛ اما اگر متغیر تقریب را خودِ تعداد حق امتیازهای محیط‌زیستی در نظر بگیریم، اثر یاد شده از لحاظ آماری معنادار نخواهد بود. همچنین در این پروژه نشان داده شد که داده‌های استفاده شده در مقاله‌ی مرجع دچار اشکالاتی است و با تصریحی که در این مقاله ذکر شده مطابقت ندارد. اصلاحات لازم بر روی این داده‌ها انجام شد و تمامی تخمین‌ها با استفاده از داده‌های اصلاح شده انجام شده است. به‌عنوان پیشنهاد برای تحقیقات آینده، می‌توان به دو نکته اشاره کرد. ۱- داده‌های این مقاله صرفاً شامل بنگاه‌هایی است که در بازار سهام عرضه شده‌اند و ممکن است نتایج از این جهت دچار اریب شده باشد. افزودن داده‌های شرکت‌های غیر بورسی می‌تواند تخمین‌ها را سازگارتر کند. ۲- اطلاعی از برنامه‌های موازی‌ای که با ETS اجرا شده و بر نوآوری اثر می‌گذارد، در دسترس نیست. کنترل کردن این برنامه‌ها در رگرسیون می‌تواند به دقیق‌تر شدن نتایج کمک شایانی کند.

منابع

- Calel, R., & Dechezleprêtre, A. (2016). *Review of Economics and Statistics*, 98(1), 173-91.
- Cole, M. A., Elliott, R. J., & Shimamoto, K. (2005). Industrial characteristics, environmental regulations and air pollution: an analysis of the UK manufacturing sector. *Journal of Environmental Economics and Management*, 50(1), 121-143.
- Cole, M. A., Elliott, R. J., Okubo, T., & Zhou, Y. (2013). The carbon dioxide emissions of firms: A spatial analysis. *Journal of Environmental Economics and Management*, 65(2), 290-309.
- Costantini, V., Crespi, F., Marin, G., & Paglialunga, E. (n.d.). Eco-innovation, Sustainable Supply Chains and Environmental Performance in European Industries. *Journal of Cleaner Production*, 155(2), 141-54.
- Cui, J., Zhang, J., & Zheng, Y. (2018). Carbon Pricing Induces Innovation: Evidence from China's Regional Carbon Market Pilots. *AEA Papers and Proceedings*, 108, 453-57.
- Duflo, E. (2001). Schooling and Labor Market Consequences of School Construction in Indonesia: Evidence from an Unusual Policy Experiment. *American Economic Review*, 91(4), 795-813.
- Gruber, J. (1994). The incidence of mandated maternity benefits. *American Economic Review*, 84(3), 622-641.
- Johnstone, N., Haščič, I., & Popp, D. (2010). Renewable Energy Policies and Technological Innovation: Evidence Based on Patent Counts. *Environmental and Resource Economics*, 45(1), 133-55.
- Lange, I., & Bellas, A. (2005). Technological Change for Sulfur Dioxide Scrubbers under Market-Based Regulation. *Land Economics*, 81(4), 546-556.
- Lee, K.-H., & Min, B. (2015). Green R&D for eco-innovation and its impact on carbon emissions and firm performance. *Journal of Cleaner Production*, 108, 534-542. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.114>
- Newell, R. G., Jaffe, A. B., & Stavins, R. N. (1999). The Induced Innovation Hypothesis and Energy-Saving Technological Change. *Quarterly Journal of Economics*, 114(3), 941-75.
- Olden, A., & Moen, J. (2020). The Triple Difference Estimator. *NHH Dept. of Business and Management Science Discussion Paper*. doi:<https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3582447>
- World Bank. (2021). State and Trends of Carbon Pricing 2021. *The World Bank*. doi:10.1596/978-1-4648-1728-1
- Zhang, J., Wang, Z., & Du, X. (2017). Lessons Learned from China's Regional Carbon Market Pilots. *Economics of Energy and Environmental Policy*, 6(2), 19-38.

پیوست‌ها

جدول پیوست ۱- Effect on Each year

VARIABLES	(1) logenvrAEW	(2) logNon_envrAEW	(3) envrAEW_ratio
2003b.year#c.Covered#c.ETS	0.194* (0.099)	0.153 (0.160)	0.023 (0.024)
2004.year#c.Covered#c.ETS	0.097 (0.065)	0.155 (0.122)	-0.005 (0.015)
2006.year#c.Covered#c.ETS	0.082 (0.066)	0.140 (0.207)	0.006 (0.013)
2007.year#c.Covered#c.ETS	0.187 (0.134)	0.326 (0.263)	0.013 (0.010)
2008.year#c.Covered#c.ETS	0.167 (0.113)	0.331 (0.250)	0.023 (0.020)
2009.year#c.Covered#c.ETS	0.114 (0.097)	0.157 (0.195)	0.016 (0.022)
2010.year#c.Covered#c.ETS	0.080 (0.139)	0.226 (0.222)	0.015 (0.012)
2011.year#c.Covered#c.ETS	0.163 (0.189)	0.131 (0.291)	0.033 (0.023)
2012.year#c.Covered#c.ETS	0.250 (0.171)	0.265 (0.274)	0.042* (0.024)
2013.year#c.Covered#c.ETS	0.274** (0.131)	0.363* (0.207)	0.032 (0.020)
2014.year#c.Covered#c.ETS	0.430** (0.162)	0.663*** (0.218)	0.063** (0.028)
2015.year#c.Covered#c.ETS	0.236 (0.218)	0.533* (0.285)	0.043 (0.028)
Observations	10,071	10,071	10,071
R-squared	0.320	0.577	0.095
Number of id	1,080	1,080	1,080

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

جدول پیوست-۲ Adding controls and trend

VARIABLES	(1) envrAEW_ratio	(2) envrAEW_ratio	(3) envrAEW_ratio	(4) envrAEW_ratio
Coverd*ETS*post	0.019 (0.017)	0.021 (0.016)	0.023 (0.016)	0.028** (0.013)
Observations	13,229	10,956	10,956	10,071
R-squared	0.039	0.051	0.056	0.092
Number of id	1,281	1,280	1,280	1,080
Control	No	Yes	Yes	Yes
Firm FE	Yes	Yes	Yes	Yes
Year FE	Yes	Yes	Yes	Yes
Province-Year linear trend	No	No	Yes	Yes
Industry-Year linear trend	No	No	No	Yes

Robust standard errors in parentheses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

جدول پیوست-۳ Robustness check

VARIABLES	(1) logenvrAE	(2) logenvrAERD
Coverd*ETS*post	0.093 (0.102)	0.055 (0.215)
Observations	10,071	6,512
R-squared	0.307	0.408
Number of id	1,080	995

Robust standard errors in parentheses

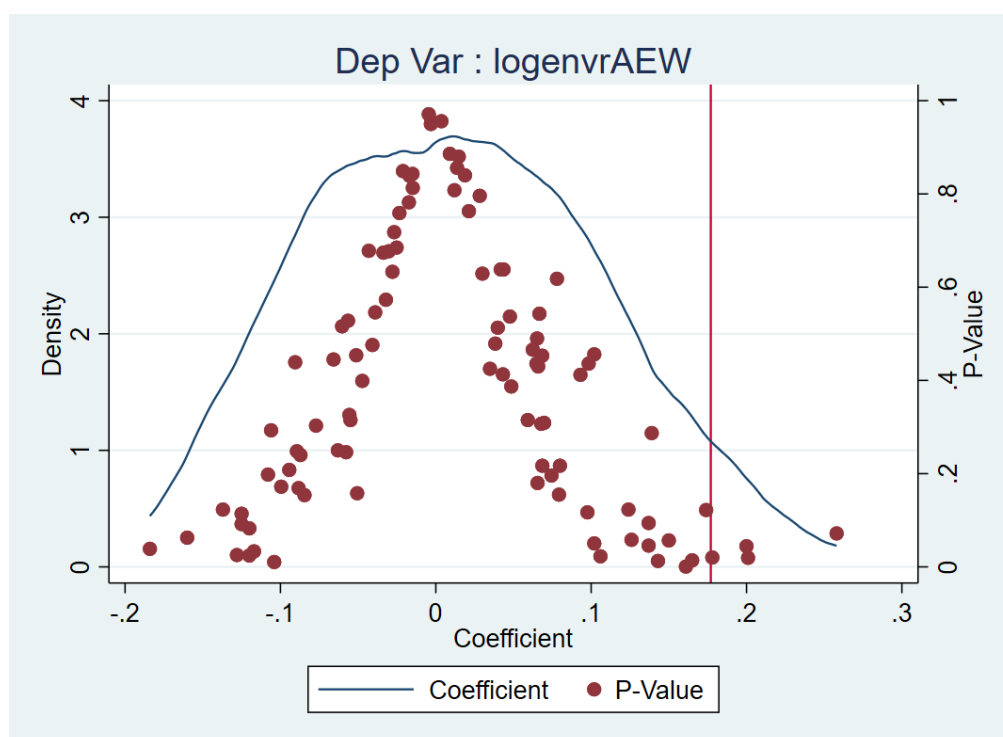
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

جدول پیوست-۴ Robustness check price turnover

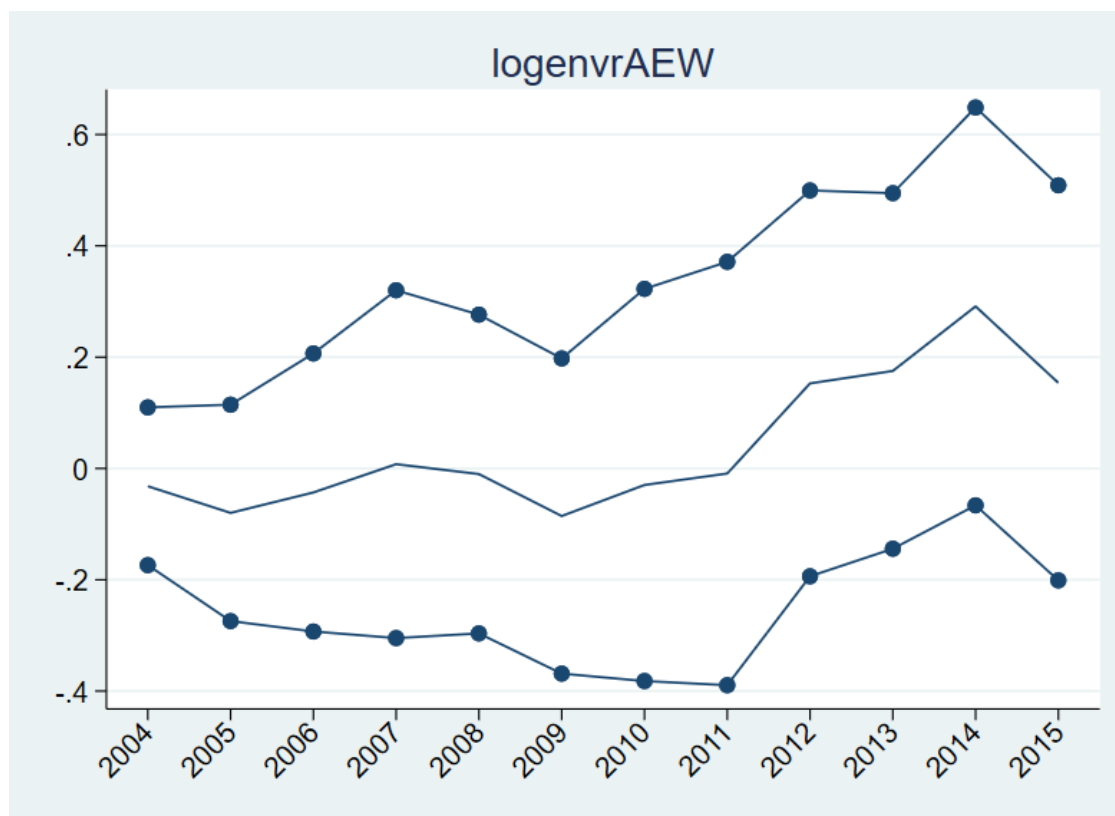
VARIABLES	(1) logenvrAE	(2) logenvrAERD	(3) logenvrAE	(4) logenvrAERD
price	-0.001** (0.001)	-0.002 (0.001)		
c.Covered#c.price	0.004 (0.003)	0.007* (0.004)		
turnover			-1.967** (0.917)	-5.562* (2.720)
c.Covered#c.turnover			4.514 (4.168)	8.454 (6.634)
Observations	10,071	6,512	10,071	6,512
R-squared	0.307	0.409	0.307	0.409
Number of id	1,080	995	1,080	995

Robust standard errors in parentheses

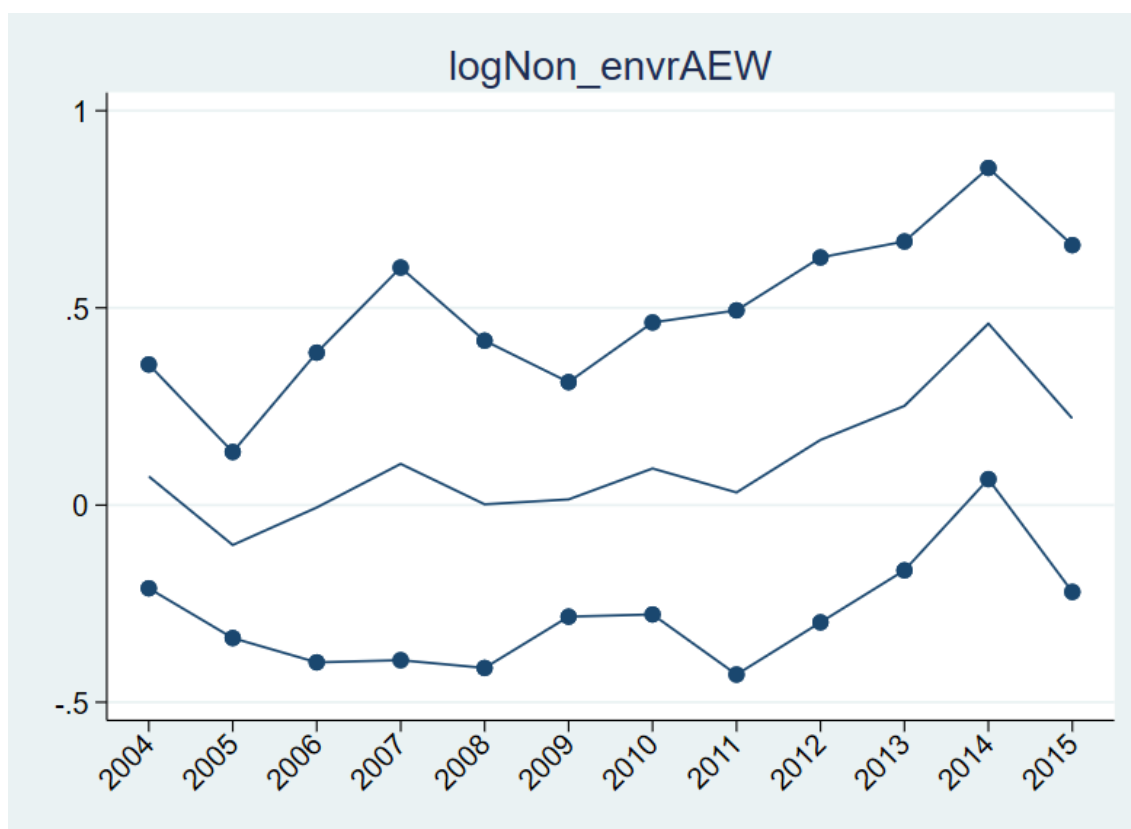
*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1



شکل پیوست-۱ نتیجه اجرای آزمون دارونما برا لگاریتم حق امتیازهای کم کرن



شکل ۲-۴ میزان افزایش لگاریتم حق امتیازهای کم‌کربن نسبت به سال پایه (۲۰۰۳)



شکل ۳-۴ میزان افزایش حق امتیازهای غیر کم‌کربن نسبت به سال پایه (۲۰۰۳)