



تحلیل اثر حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی در منتخبی از کشورهای عضو پروتکل کیوتو

نگار تحریری

سارا قبادی*

حسین شریفی رنایی

دانشجوی دکتری، گروه علوم اقتصادی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

دانشیار گروه علوم اقتصادی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

دانشیار گروه علوم اقتصادی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران

چکیده مبسوط

مقدمه: استفاده بیش از حد از سوخت های فسیلی به عنوان منابع انرژی از طریق افزایش غلظت گازهای گلخانه ای در جو، باعث افزایش میانگین دمای سطح زمین می شود. حکمرانی دیجیتال از موارد مطرح برای مقابله با روند رو به رشد گرمایش جهانی است که بر ضرورت دیجیتالی نمودن نهادها و خدمات عمومی در راستای کارآمدتر شدن دولت ها در مسیر توسعه پایدار و بهبود شرایط زیست محیطی تأکید می کند. از طرفی چنانچه گسترش دولت دیجیتال با تمرکز بر صرفه جویی در هزینه ها و بدون توجه به توسعه سبز در بلندمدت باشد، کشور را به ایجاد ترمینال های متعدد برای عرضه خدمات دیجیتال ملزم نموده و باعث افزایش انتشار کربن و گرمایش جهانی می شود. پژوهش حاضر اثرات آستانه ای حکمرانی دیجیتال، توسعه مالی و اثربخشی دولت بر گرمایش جهانی در منتخبی از کشورهای عضو پروتکل کیوتو را در سال های ۲۰۰۳-۲۰۲۳ بررسی می کند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۵

مواد و روش ها: برای دستیابی به هدف پژوهش مدلی در نظر گرفته می شود که در آن متغیر وابسته تغییرات دمایی به عنوان شاخص گرمایش جهانی و متغیر انتقال حکمرانی دیجیتال است. سایر متغیرهای مستقل شامل اثربخشی دولت، توسعه مالی، سرمایه گذاری مستقیم خارجی، تجارت و تولید ناخالص داخلی است. برای برآورد مدل از روش آستانه ای PSTR استفاده می شود.

نتایج و بحث: نتایج داد که شاخص حکمرانی دیجیتال در رژیم اول و دوم به ترتیب اثر مثبت و منفی بر گرمایش جهانی داشته که بیانگر وجود رابطه ای به شکل U معکوس است. به عبارتی استفاده از انرژی های فسیلی برای توسعه، تولید و نصب دستگاه ها و تجهیزات فناوری لازم در مراحل اولیه الکترونیک شدن دولت منجر به انتشار گازهای آلاینده و افزایش گرمایش جهانی شده، اما با رسیدن شاخص حکمرانی دیجیتال به حد آستانه اثرات غیرمستقیم ناشی از کاهش حمل و نقل برای انجام امور اداری دولتی و کاهش لزوم استفاده از انرژی برای ارائه خدمات به صورت حضوری انتشار آلاینده ها کاهش یافته است. اثربخشی دولت و توسعه مالی در هر دو رژیم اثر منفی بر گرمایش جهانی داشتند اما این اثر در رژیم دوم تقویت شده است.

واژه های کلیدی:

حکمرانی دیجیتال، گرمایش جهانی، پروتکل کیوتو، رگرسیون انتقال ملایم تابلیوی

نتیجه گیری: با توجه به اثر U معکوس حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی، در مراحل ابتدایی الکترونیک شدن به واسطه استفاده از انرژی های مختلف برای توسعه فناوری دیجیتال گرمایش جهانی تشدید و با رسیدن شاخص حکمرانی دیجیتال به حد آستانه و با کاهش نیاز به استفاده از حمل و نقل برای انجام امور اداری دولتی گرمایش جهانی کاهش می یابد. بنابراین توسعه حکمرانی دیجیتال به عنوان هدف مطلوب ولی با حداقل نمودن آثار مخرب بر اقلیم باید دنبال شود. این امر از طریق تعامل با جامعه دانشگاهی بین المللی، جذب سرمایه گذاران خارجی و استفاده از انرژی های پاک در مراحل آغازین توسعه حکمرانی دیجیتال امکان پذیر است. مطابق با اثر منفی شاخص اثربخشی دولت در هر دو رژیم، توصیه می شود شهروندان در تصمیم گیری های دولتی مشارکت داده شوند. همچنین بررسی منظم عملکرد دولت، بازنگری و اصلاح قوانین و مقررات ناکارآمد، می تواند با افزایش اثربخشی دولت به کاهش گرمایش جهانی کمک کند. با توجه به تاثیر توسعه مالی بر کاهش گرمایش جهانی، پیشنهاد می گردد دولت ها از طریق توسعه همکاری های بین المللی در زمینه توسعه مالی، ارتقاء دانش مالی شهروندان، تسهیل ورود شرکت های جدید به بازار و کاهش مقررات دست و پاگیر زمینه توسعه مالی و کاهش گرمایش جهانی را فراهم نمایند.

نویسنده مسئول: سارا قبادی

نشانی: گروه علوم اقتصادی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران | تلفن: ۰۹۱۳۱۰۱۳۶۴۶ | پست الکترونیکی: sghobadi@iau.ac.ir

استاد: تحریری نگار، قبادی سارا، شریفی رنایی حسین. تحلیل اثر حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی در منتخبی از کشورهای عضو پروتکل کیوتو. پژوهش های نوین در مهندسی

محیط زیست. ۱۴۰۴؛ ۳(۱۱): ۱-۱۹.

حقوق نویسندگان محفوظ است. این مقاله با دسترسی آزاد و تحت مجوز مالکیت خلاقانه 4.0 http://creativecommons.org/licenses/by/4.0 در فصلنامه پژوهش های نوین در مهندسی محیط زیست منتشر شده است. هرگونه استفاده غیرتجاری فقط با استناد و ارجاع به اثر اصلی مجاز است.



مقدمه

در دنیای امروز، گرمایش جهانی به‌عنوان یکی از سناریوهای مطرح اقلیمی در سطوح ملی، منطقه‌ای و جهانی مورد توجه جدی قرار گرفته است (دالایی و همکاران ۱۳۹۵). گرمایش جهانی را می‌توان به‌عنوان افزایش تدریجی میانگین دمای جو زمین در نظر گرفت. به بیانی دقیق‌تر، گرمایش جهانی یکی از پیامدهای اصلی فعالیت‌های انسانی است که در آن استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی به‌عنوان منابع انرژی، از طریق افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسیدکربن، متان و نیتروز اکساید و همچنین بخار آب در جو، باعث افزایش میانگین دمای سطح زمین می‌شود. گرمایش جهانی یکی از بحث‌برانگیزترین نگرانی‌های علمی قرن بیست و یکم است که ساختار جامعه جهانی را تهدید می‌کند. گرمایش جهانی نه تنها یک مسئله علمی است، بلکه اقتصاد، ژئوپلیتیک، سیاست‌های محلی، روانشناسی و سبک زندگی فردی را نیز در بر می‌گیرد. بخش عمده‌ای از گرمایش زمین ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای به دنبال احتراق سوخت‌های فسیلی در وسایل نقلیه، کارخانه‌ها و تولید برق است (الغسین ۲۰۱۹، حسنا و اومرب ۲۰۲۲).

تحقیقات انجام شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که در طول یک و نیم قرن گذشته، میانگین دمای سطح زمین افزایش یافته است. از شواهد فراگیر و قابل توجه این امر می‌توان به گرم شدن اقیانوس‌ها، ذوب شدن یخچال‌های طبیعی، بالا آمدن سطح آب دریاها و کاهش پوشش برف در نیم کره شمالی اشاره نمود (دی‌آماتو و آکدیس ۲۰۲۰، نونس ۲۰۲۵). بر اساس گزارش مرکز ملی اطلاعات زیست‌محیطی اداره ملی اقیانوسی و جوی^۱، سال ۲۰۲۴ گرم‌ترین سال از زمان شروع ثبت رکوردهای جهانی (سال ۱۸۵۰ میلادی) بوده است، به‌طوری‌که در این سال میانگین دمای سطح زمین ۱/۲۹ درجه سانتی‌گراد بالاتر از میانگین قرن بیستم (معادل ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد) و ۱/۴۶ درجه سانتی‌گراد بالاتر از میانگین پیش از صنعتی‌شدن (معادل ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد) بوده است (گزارش اداره ملی اقیانوسی و جوی ۲۰۲۴). هیئت بین‌دولتی تغییرات اقلیمی^۲ پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۱۰۰ میلادی، دمای جهانی می‌تواند بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد و سطح دریاها می‌تواند بین ۲۰ تا ۸۸ سانتی‌متر افزایش یابد که نتیجه آن ناپایداری بیشتر الگوهای آب‌وهوایی و تشدید رویدادهای اقلیمی مانند طوفان‌ها، سیل‌ها و خشکسالی‌ها خواهد بود. این امر می‌تواند منجر به اثرات بالقوه ویرانگر بر جامعه بشری، از جمله تغییرات

شدید در سلامت، امنیت غذایی، زیرساخت‌ها، منابع آب، مناطق ساحلی و تنوع زیستی شود (حسن ۲۰۲۴). با توجه به اینکه میانگین افزایش دمای جهانی به‌سرعت در حال نزدیک شدن به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد و عبور از آن است، باید اقداماتی اساسی در راستای مبارزه با گرمایش جهانی صورت پذیرد. مقابله با روند روبه‌رشد گرمایش جهانی و اثرات مخرب آن، نیازمند یک عزم جدی و برنامه‌ریزی منسجم در سطوح ملی و بین‌المللی است. اگرچه در این مسیر راهکارهای متعددی توسط کشورهای مختلف جهان مطرح شده است، اما شواهد تجربی حاکی از آن است که بسیاری از راهکارهای ارائه شده، اثراتی دوسویه بر گرمایش جهانی داشته‌اند. یکی از موارد مطرح در این زمینه حکمرانی دیجیتال است. با ظهور اولین نشانه‌های دولت دیجیتال در دهه ۱۹۸۰ و پیچیده‌تر شدن مفهوم آن طی زمان، بر ضرورت دیجیتالی نمودن نهادها و خدمات عمومی در راستای کارآمدتر شدن دولت‌ها در مسیر توسعه پایدار و بهبود شرایط زیست‌محیطی تأکید شده است (گزارش سازمان ملل ۲۰۲۴). در همین راستا شورای دولتی چین^۳ (۲۰۲۲) نیز از تقویت ساختار دولت دیجیتال به‌عنوان یکی از راهکارهای مؤثر در مبارزه با گرمایش جهانی دفاع کرده است. دولت دیجیتال قادر است تا از طریق فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند کلان‌داده، اینترنت اشیا و بلاک‌چین، ضمن بهینه نمودن خدمات عمومی و کارایی مدیریت، ایده‌ها و ابزارهای جدیدی را برای حکمرانی زیست‌محیطی و مدیریت انتشار کربن ارائه نماید (یی ۲۰۲۵). در این بین محققان معتقد هستند حکمرانی دیجیتال به‌طور مستقیم از طریق افزایش استفاده از فناوری‌های دیجیتال و بهبود شفافیت و دقت داده‌های انتشار کربن و در نتیجه افزایش کارایی نظارتی، بخشی از هزینه‌های زیست‌محیطی را به تولیدکنندگان کربن منتقل می‌کند. افزایش توانمندی مردم در گزارش رفتارهای آلاینده محیط‌زیست و دسترسی به آخرین سیاست‌های حفاظت از محیط‌زیست دولت‌ها و همچنین افزایش آگاهی زیست‌محیطی به واسطه انتشار اطلاعات مربوط به گذار به مصرف کم‌کربن، نحوه صرفه‌جویی در انرژی و حفاظت از محیط‌زیست توسط دولت در بستر اینترنت نیز از دیگر اثرات مثبت مستقیم حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی است (لیو و همکاران ۲۰۲۴، بای و همکاران ۲۰۲۳، خو و همکاران ۲۰۲۵). مدافعان اثرات مثبت غیرمستقیم نیز بر این باور هستند که حکمرانی دیجیتال با جذب ایده‌های خلاقانه، سیاست‌گذاری‌های خود را با فناوری‌های نوآورانه سبز همراه نموده و مدل‌های خدمات

1- National Oceanic and Atmospheric Administration

2- Intergovernmental Panel on Climate Change

3- State Council of China

مبنی بر تاثیر مثبت دولت دیجیتال و الکترونیک بر کاهش انتشار کربن را مورد ملاحظه قرار داد که بیشتر بر پایه داده‌های شهری و استانی متمرکز بوده و اغلب دربرگیرنده اتحادیه اروپا، بریکس یا کشورهای خاص می‌باشند. بر این اساس نتیجه گرفته می‌شود که تا کنون هیچ‌یک از مطالعات داخلی انجام شده در ایران، تأثیر حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی را مورد بررسی قرار نداده‌اند. اکثر مطالعات خارجی انجام شده در این زمینه نیز از انتشار دی‌اکسیدکربن به‌عنوان شاخص زیست‌محیطی استفاده کرده‌اند و از طرفی بررسی این موضوع در کشورهای عضو پروتکل کیوتو نیز مغفول مانده است. پژوهش حاضر تلاش می‌کند تا خلاهای مطالعاتی مربوطه را پوشش دهد. در راستای تحقق هدف پژوهش، با استفاده از روش رگرسیون انتقال ملایم تابلویی (PSTR) و با در نظر گرفتن حکمرانی دیجیتال به‌عنوان متغیر انتقال، اثرات آستانه‌ای حکمرانی دیجیتال، توسعه مالی و اثربخشی دولت بر گرمایش جهانی در منتخبی از کشورهای عضو پروتکل کیوتو طی دوره زمانی (۲۰۲۳-۲۰۰۳) مورد بررسی قرار می‌گیرد. از طرفی استفاده از روش مذکور برای برآورد الگوی پژوهش به‌دلیل برآورد ضرایب اثرگذاری متغیرها در رژیم‌های مختلف، امکان ارائه توصیه‌های سیاستی کاربردی‌تری را فراهم می‌نماید.

مبانی نظری

گرمایش جهانی

گرمایش جهانی به‌عنوان افزایش میانگین دمای زمین تعریف می‌شود. در طول صد سال گذشته، میانگین دمای هوا در نزدیکی سطح زمین کمی کمتر از ۱ درجه سانتی‌گراد تا ۱/۳ درجه فارنهایت افزایش یافته است (ونکاتارامانان و اسمیتا ۲۰۱۱). گازهای گلخانه‌ای به‌عنوان عامل اصلی گرمایش جهانی در نظر گرفته می‌شوند. این گازها شامل دی‌اکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، متان و ترکیبات خاصی حاوی کلر و برم هستند. تجمع این گازها در جو، تعادل تابشی را مختل می‌کند و منجر به گرم شدن سطح زمین و جو پایینی می‌شود. گازهای گلخانه‌ای مقداری از تابش ورودی زمین را جذب کرده و آن را دوباره به سطح زمین بازتاب می‌دهند (حسنا و اومرب ۲۰۲۲).

یکی دیگر از دلایل مهم گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن است که تا حدودی به‌دلیل گازهای حاوی کلر است. این گازها هنگام قرار گرفتن در معرض نور ماوراء بنفش، اتم‌های کلر را تجزیه می‌کنند که سپس تخریب ازن را کاتالیز می‌کنند. علاوه بر این،

جدید ارائه شده توسط پلتفرم‌های آنلاین دولتی نیز با ساده‌سازی در رویه‌های تأیید و کاهش هزینه‌های معاملات مربوط به ثبت اختراعات فناوری سبز، به‌طور مؤثری نشاط در فعالیت‌های نوآورانه را افزایش می‌دهند (یولاه و همکاران ۲۰۲۲، پاتنایک و باکار ۲۰۲۴). به‌طور کلی فناوری‌های سبز به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند که وابستگی خود را به سوخت‌های فسیلی سنتی کاهش داده و به سمت روش‌های تولید کم‌کربن حرکت کنند (کوانگ و همکاران ۲۰۲۲). در این بین باید توجه داشت که اگرچه اقتصاد دیجیتال یک مدل حاکمیتی دیجیتال جدید و کارآمد را فراهم می‌کند، اما منابع جدیدی از آلودگی را نیز به‌همراه دارد (آدجی-بامفو و همکاران ۲۰۱۹). در حقیقت چنانچه گسترش دولت دیجیتال با تمرکز بر صرفه‌جویی در هزینه‌ها و بدون توجه به توسعه سبز در بلندمدت همراه باشد، می‌تواند با ملزم نمودن کشور به ایجاد ترمینال‌های متعدد دیجیتال برای عرضه خدمات دیجیتال بدون توجه به پیامدهای زیست‌محیطی، باعث افزایش انتشار کربن اضافی شود و در نتیجه به‌عنوان یک مانع در مسیر مبارزه با گرمایش جهانی و توسعه پایدار عمل کند (یانگ و همکاران ۲۰۲۴). به‌عنوان یک نتیجه‌گیری کلی اگر چه دولت‌ها امیدوار هستند تا از طریق حکمرانی دیجیتال وضعیت محیط‌زیست را بهبود بخشند، اما همان‌طور که به آن اشاره شد، تأثیر حکمرانی دیجیتال بر محیط‌زیست مبهم و نامشخص است (ژیشیانگ و دیگانگ ۲۰۲۵). از این‌رو بررسی اثرگذاری حکمرانی دیجیتال بر جنبه‌های مختلف زیست‌محیطی در جوامع مختلف به‌دلیل احتمال نتیجه‌گیری‌های متفاوت، بسیار حائز اهمیت است. از مهمترین مطالعات داخلی انجام شده در این زمینه می‌توان به مطالعات وفادار و همکاران (۱۴۰۴) مبنی بر اثر منفی فناوری اطلاعات و ارتباطات بر انتشار کربن، رحمتی (۱۴۰۴) مبنی بر نقش ادغام‌شده متاورس با سیاست‌های پایدار و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر برای حرکت به سوی آینده‌ای کربن‌زا و تاب‌آور، آریان‌فر و علمی (۱۴۰۳) مبنی بر برقراری رابطه U معکوس فناوری اطلاعات و ارتباطات و ردپای اکولوژیکی سرانه و همچنین مطالعه محمدی و همکاران (۱۴۰۲) مبنی بر نقش مثبت فناوری اطلاعات و ارتباطات در بهبود کارایی کربن و کاهش تغییرات آب و هوایی اشاره نمود که عمدتاً به کشورهای با درآمد بالاتر از متوسط، صادرکنندگان نفت یا خلیج‌فارس محدود هستند و کمتر به گروه‌های متعهد به پروتکل کیوتو می‌پردازند. از جدیدترین مطالعات خارجی نیز می‌توان مطالعات دیگانگ و ژیشیانگ (۲۰۲۵)، لی و همکاران (۲۰۲۵)، لی و یان (۲۰۲۴) و هان و همکاران (۲۰۲۳) مبنی بر ناهمگونی تأثیر حکمرانی دیجیتال بر شدت انتشار کربن و مطالعات یی (۲۰۲۵)، بات و عبدالعزیز (۲۰۲۵)، فنگ و همکاران (۲۰۲۴) و منگ و همکاران (۲۰۲۴)

زیادی متان در فضا می‌شود (ماسلین ۲۰۰۸، فردلینگستین و همکاران ۲۰۱۰، حسن ۲۰۲۴).

عوامل انسانی شامل سوزاندن سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی غیرطبیعی، تولید و استفاده از کودها و استخراج معادن است. دی‌اکسیدکربن منتشر شده در نتیجه سوزاندن سوخت‌های فسیلی به‌عنوان مهم‌ترین عامل گرمایش جهانی شناخته می‌شود. جنگل‌زدایی ناشی از فعالیت‌های انسانی، فرآیند تولید کود نیتروژن و استخراج نفت و زغال‌سنگ نیز از طریق انتشار انواع گازهای گلخانه‌ای همچون دی‌اکسیدکربن، متان و اکسیدنیتروژن نقش مهمی در گرمایش جهانی دارند (فیرنساید و لارنس ۲۰۰۴، بانکس و فورث ۲۰۱۲، حسن ۲۰۲۴).

افزایش دمای جهانی باعث طیف وسیعی از تغییرات می‌شود که از آن جمله می‌توان به افزایش سطح دریاها به‌دلیل انبساط حرارتی اقیانوس و ذوب شدن یخچال‌های طبیعی، تغییر در میزان و الگوهای بارندگی و افزایش میانگین شدت و مدت طوفان‌ها اشاره کرد. با ایجاد تغییر در دما و الگوهای بارندگی، فراوانی، مدت و شدت سایر رویدادهای شدید آب‌وهوایی مانند سیل، خشکسالی، امواج گرما و گردبادها نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی گرمایش جهانی از طریق ذوب نمودن یخ، تغییر در چرخه هیدرولوژیکی و تغییر در جریان‌های اقیانوسی و هوا در جو باعث بروز تغییرات آب و هوایی می‌شود. از دیگر اثرات گرمایش جهانی می‌توان به افزایش یا کاهش محصولات کشاورزی، عقب‌نشینی بیشتر یخچال‌های طبیعی، کاهش جریان‌های تابستانی و انقراض گونه‌ها اشاره نمود. گرمایش جهانی همچنین می‌تواند باعث بازگشت برخی از بیماری‌های ریشه‌کن شده مانند مالاریا در نقاطی از جهان شود (ونکاتارامانان و اسمیتا ۲۰۱۱).

حکمرانی دیجیتال

اقتصاد دیجیتال که با عناوین اقتصاد اینترنتی، اقتصاد مبتنی بر شبکه، اقتصاد مبتنی بر وب و اقتصاد جدید نیز شناخته می‌شود، اقتصادی است که بخش اعظم آن مبتنی بر فناوری‌های دیجیتال شامل شبکه‌های ارتباطی، رایانه‌ها، نرم‌افزارها و سایر فناوری‌های اطلاعاتی است (فتحیان و مهدوی‌نور ۱۳۹۸). تعاریف ابتدایی اقتصاد دیجیتال متکی بر مبادلاتی بود که از طریق بسترهای اینترنتی صورت می‌پذیرفت، اما با پیشرفت تکنولوژی، این تعریف توسعه یافت، به‌نحوی که کلیه فعالیت‌های مبتنی بر فناوری‌های نوین اطلاعاتی، ارتباطی، هوش مصنوعی، رایانش ابری، بلاک‌چین، اینترنت اشیا و کلان‌داده را در بر می‌گیرد (هائو و همکاران ۲۰۲۳).

آئروسول‌ها^۴ از دو طریق در گرمایش جهانی نقش دارند. اول آن‌ها تابش خورشیدی و مادون قرمز را پراکنده و جذب می‌کنند و دوم اینکه می‌توانند خواص میکروفیزیکی و شیمیایی ابرها را تغییر دهند و بر طول عمر و مدت زمان آن‌ها تأثیر بگذارند. در حالی که پراکندگی تابش خورشیدی توسط آئروسول‌ها می‌تواند اثر خنک‌کننده‌ای بر سیاره داشته باشد، جذب تابش خورشیدی توسط آئروسول‌ها به‌طور فعال جو را گرم می‌کند و مانع از جذب نور خورشید توسط سطح زمین می‌شود. فعالیت‌های انسانی به طرق مختلف در افزایش سطح آئروسول در جو نقش دارند. به‌عنوان مثال، گردوغبار محصول جانی فعالیت‌های کشاورزی است. در فرآیندهای صنعتی نیز بسته به موادی که پردازش یا سوزانده می‌شوند، طیف گسترده‌ای از آئروسول‌ها تولید می‌شوند. علاوه بر این، گازهای منتشر شده توسط انواع وسایل حمل‌ونقل حاوی مخلوطی از آلاینده‌ها هستند که یا به صورت آئروسول وجود دارند یا از طریق واکنش‌های شیمیایی در جو به آئروسول تبدیل می‌شوند (اودین ۲۰۲۲).

به‌طور کلی عوامل ایجاد گرمایش جهانی را می‌توان به دو دسته طبیعی و انسانی تقسیم نمود. عوامل طبیعی شامل فعالیت خورشیدی، جنگل‌زدایی طبیعی، ذوب شدن خاک منجمد، فوران آتشفشان و انتشار متان توسط حیوانات است. به‌دنبال کاهش فعالیت خورشیدی و تضعیف میدان مغناطیسی آن، پرتوهای کیهانی بیش‌تری به منظومه شمسی نفوذ می‌کنند که از طریق یونیزه نمودن ذرات کوچک موجود در هوا و تبدیل آن‌ها به قطرات آب، باعث شکل‌گیری ابرها می‌شوند. افزایش پوشش ابری زمین می‌تواند منجر به کاهش دمای جهانی شود. علاوه بر این، تغییر در طول موج‌های فرابنفش و مرئی، می‌تواند بر دمای محیطی تأثیرگذار باشد. از سوی دیگر هنگامی که پوشش‌های گیاهی می‌سوزند، باعث انتشار کربن انباشته‌شده در جو، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و جذب بیشتر انرژی خورشیدی می‌شوند. خاک منجمد دائمی به‌عنوان خاکی که به مدت دو یا چند سال در نقطه انجماد صفر درجه سانتی‌گراد یا پایین‌تر از آن بوده است، حاوی مقادیر زیادی کربن است و ذوب شدن آن می‌تواند کربن به دام افتاده در آن را به شکل دی‌اکسیدکربن و متان آزاد نماید. گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در هوا که ناشی از فعالیت‌های آتشفشانی هستند نیز ضمن توزیع و جذب تابش خورشیدی و مادون قرمز، می‌توانند با تغییر خواص میکروفیزیکی و شیمیایی ابرها بر گرمایش جهانی تأثیر بگذارند. فرآیندهای گوارشی حیوانات اهلی مانند گاو، گاو میش، خوک، بز و شتر نیز باعث آزاد شدن مقادیر

4- Aerosols

5- Permafrost melting

ایجاد و حضور دیجیتال برای هر سازمانی را تعیین می‌کند و شامل وبسایت‌ها، برنامه‌های تلفن‌همراه، کانال‌های رسانه‌های اجتماعی و هرگونه خدمات یا محصولات است که از طریق اینترنت یا وب قابل دسترسی هستند (پنده و همکاران ۲۰۲۵). حکمرانی دیجیتال که نشأت گرفته از مفهوم کلان حکمرانی است، می‌تواند ضمن جلوگیری از هدر رفتن منابع، اثرگذاری اقدامات تحول دیجیتال را نیز تقویت بخشد. علاوه بر این، با تعیین وظایف افراد در راستای پیشبرد اهداف تحول دیجیتال، نقش مهمی در کنترل روندهای سازمانی ایفا می‌کند (وینود کومار ۲۰۱۴).

حکمرانی دیجیتال و دولت دیجیتال به‌عنوان پدیده‌های چندبعدی اغلب به‌عنوان مترادف تلقی می‌شوند و در ادبیات دانشگاهی یا اسناد رسمی نیز به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. از سوی دیگر برای دولت دیجیتال مترادف‌های مختلفی همچون دولت الکترونیک، حکمرانی الکترونیک و دولت تحول‌آفرین به کار برده شده است. در نظرسنجی‌های دولت الکترونیک سازمان ملل متحد^۶ در سال‌های ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ نیز دولت دیجیتال و دولت الکترونیک به‌جای یکدیگر استفاده شده‌اند و بر همین اساس هیچ‌گونه تمایز رسمی میان این اصطلاحات در بین دانشگاهیان، سیاست‌گذاران و متخصصان وجود ندارد. دولت الکترونیک به دیجیتالی کردن رویه‌ها، اسناد و خدمات برای بهبود حکومتداری با استفاده از فناوری مدرن اشاره دارد. این شکل از حکومت زمانی که مقامات دولتی و پرسنل اداری به‌طور مؤثر با یکدیگر کار می‌کنند، می‌تواند از عملکرد سازمان‌ها پشتیبانی کند (گریگالاشویلی ۲۰۲۳). به‌طور کلی دولت به‌عنوان جهت‌دهنده، سیاست‌گذار و تسهیل‌گر فرآیند تحول دیجیتال شناخته می‌شود و نقش پل ارتباطی و هماهنگ‌کننده زیست‌بوم اقتصاد دیجیتال را ایفا می‌کند. سیاست‌گذاری اثربخش در زمینه تقویت زیرساخت‌های فناوری اطلاعات، توسعه دسترسی همگانی به اینترنت پرسرعت، حمایت هدفمند از نوآوری و پژوهش، بهبود فضای کسب‌وکار دیجیتال، رفع موانع قانونی و مقرراتی، تضمین امنیت سایبری، حفاظت از داده‌های مصرف‌کنندگان، ایجاد چارچوب‌های حکمرانی داده و تقویت آموزش عمومی دیجیتال همگی از مسئولیت‌های دولت در این زمینه محسوب می‌شوند (میرباقری ۱۴۰۴).

از نظر سازمان ملل متحد، خدمات دولت دیجیتال سه حوزه اصلی کسب‌وکار، دولت و شهروندان را هدف قرار می‌دهد. بر اساس دیدگاه دولت دیجیتال به سوی کسب‌وکار، ایجاد دولت دیجیتال می‌تواند با بهبود عملیات تجاری و قابلیت‌های مدیریت کسب‌وکار

اقتصاد دیجیتال نه تنها با جایگزینی ابزارهای فناورانه به‌جای ابزارهای سنتی همراه است، بلکه باعث تغییر بنیادین در الگوهای خلق ارزش، تعاملات بازار، ساختارهای کسب‌وکار و حتی مفاهیم بنیادین ثروت‌آفرینی می‌شود. چنین تحولی باعث شده اقتصاد امروزی، به شکل بی‌سابقه‌ای به داده و فناوری اطلاعات وابسته باشد به‌طوری‌که این وابستگی ابعاد اجتماعی، اقتصادی، نهادی و حتی هویتی را نیز دربر می‌گیرد (جیائو و همکاران ۲۰۲۱). همگام با گسترش روزافزون اقتصاد دیجیتال، مقوله تنظیم‌گری هوشمند و مدرن، با در نظر گرفتن تحولات فناوری و نیازهای روز بازار، به یکی از مهمترین مباحث مورد توجه سیاست‌گذاران تبدیل شده است. این درحالی است که عرصه دیجیتال با چالش‌های اساسی همچون فقدان نظام حقوقی و مقررات شفاف، عدم وجود استانداردهای فنی مشترک، عدم انطباق قوانین با نوآوری‌های فناورانه، سردرگمی نهادهای اجرایی و وجود موانع اداری مواجه است. از سوی دیگر رفع نابرابری جنسیتی و جغرافیایی در دسترسی به امکانات دیجیتال، حذف انحصار توسط شرکت‌های مطرح فناوری و کاهش سرعت ایجاد آسیب‌های اجتماعی و اقتصادی، به رویکردی منعطف و آینده‌نگر در نظام حکمرانی اقتصاد دیجیتال وابسته است (لوئو و همکاران ۲۰۲۳).

در این بین، سازمان‌هایی وجود دارند که از طریق سازوکارهای هوشمند، خود را با نیازمندی‌های بهره‌داران و مشتریان مختلف تطبیق می‌دهند. سازمان دیجیتال سازمانی است که ضمن تأکید بر اهمیت تحول دیجیتال به‌عنوان ضرورت بقا، با رعایت مقتضیات عصر دیجیتال، به سمت جاری‌سازی دیجیتال حرکت می‌کند. یک سازمان دیجیتال، ضمن برخورداری از تعاملات دیجیتال، محصولات و خدمات فناورانه، باید در زمینه عملکردهای اصلی نیز از توانایی‌های لازم برخوردار باشد. ایجاد یک سازمان دیجیتال ایده‌آل، به تغییرات بنیادین و تدریجی در روش فعالیت کارکنان و همچنین رفتار و شیوه تعامل افراد در داخل و خارج از سازمان نیازمند است (سریزدی و منطقی ۱۴۰۱). هر سازمان توسط یک بدنه حاکمیتی که مسئولیت مهمترین اقدامات سازمان را بر عهده دارد، اداره می‌شود. عمده مسئولیت حکمران، مطابقت دادن قواعد سازمانی با قوانین است. به‌طور کلی ارزیابی، هدایت و نظارت از فعالیت‌های اصلی حکمران محسوب می‌شود (مهرنوش و بهرامی ۱۳۹۷). برقراری موفقیت‌آمیز حکمرانی دیجیتال در سطح یک سازمان، نیازمند برخورداری از برنامه‌ریزی‌های آینده‌نگرانه، جامع و نوآورانه در راستای بقا در عصر دیجیتال است (بخاری و میونگ ۲۰۲۲). در حقیقت حکمرانی دیجیتال چارچوبی است که نقش‌ها، مسئولیت‌ها و اختیارات لازم برای تصمیم‌گیری جهت

از طریق باز بودن داده‌ها، عملکرد کسب‌وکار را بهبود بخشد. علاوه بر این، دولت دیجیتال بر کیفیت توسعه شرکت‌ها تأثیر می‌گذارد، به‌طوری‌که هر چه سطح فناوری شرکت‌ها بالاتر باشد، شدت این اثرگذاری نیز بیشتر خواهد بود. دیدگاه دولت دیجیتال به سوی دولت، معتقد است دولت دیجیتال ضمن افزایش حجم خدمات دولتی و کاهش هزینه‌های تراکنش نهادی شرکت‌های طرف دولت، از طریق معرفی یک دستگاه دولتی واحد، کارایی دولت را بهبود می‌بخشد. همچنین در بحران‌های عمومی غیرمنتظره، مردم از طریق برنامه‌های مرتبط با دولت دیجیتال به خدمات عمومی دسترسی پیدا می‌کنند که اعتماد به دولت را افزایش می‌دهد. بر اساس دیدگاه دولت دیجیتال به سوی شهروند نیز دولت دیجیتال قادر است تا درک شهروندان از زندگی بهتر و عدالت اجتماعی را متحول سازد (ژنگ و همکاران ۲۰۲۳، یی ۲۰۲۵).

در سال‌های اخیر محققان زیادی با بررسی تأثیر دولت دیجیتال بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، ارتباط دولت دیجیتال با محیط‌زیست را نیز به سه حوزه قبلی مطرح شده توسط سازمان ملل متحد اضافه نموده‌اند. در این بین نتیجه مطالعه دیگانگ و ژیشیانگ (۲۰۲۵) حاکی از تأثیر منفی حکمرانی دیجیتال بر محیط‌زیست و نتیجه مطالعه یی (۲۰۲۵) بیانگر تأثیر مثبت دولت دیجیتال بر محیط‌زیست می‌باشد (ژیشیانگ و دیگانگ ۲۰۲۵، یی ۲۰۲۵).

حکمرانی دیجیتال و گرمایش جهانی

دیجیتالی شدن با ایجاد طیف وسیعی از نوآوری‌ها، روش‌های جدیدی را برای ارائه خدمات شکل می‌دهد. این نوآوری‌ها که بر پایه فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات هستند، در زمینه‌هایی همچون محاسبات ابری، تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها، بهینه‌سازی الگوریتمی و همچنین پلتفرم‌ها و خدمات مبتنی بر تقاضا تمرکز دارند (شوئلکه-لیچ ۲۰۱۸). در زندگی روزمره، دیجیتالی شدن به‌طور جدایی‌ناپذیری با تلفن‌های هوشمند و سایر دستگاه‌های مجهز به اینترنت که به‌عنوان رابط‌هایی برای خدمات مبتنی بر ابر^۷ عمل می‌کنند، مرتبط است. چنین نوآوری‌هایی می‌توانند اثرات گسترده‌ای بر شیوه زندگی و کار افراد داشته باشند (مانیکا و همکاران ۲۰۱۳). دیجیتالی شدن از یک‌سو می‌تواند مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد و تأثیرات

مثبتی بر آب و هوا داشته باشد و از سوی دیگر می‌تواند با تغییر در رفتارهای جامعه باعث افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای شده و در نتیجه تأثیر منفی بر آب و هوا بگذارد (آمانتا و همکاران ۲۰۲۴). به بیانی دیگر در ارتباط با تأثیر فناوری‌های دیجیتال بر انتشار کربن دو دیدگاه غالب وجود دارد. دیدگاه اول بر اثرات مثبت فناوری‌های دیجیتال بر تحریک نوآوری سبز، تسهیل ارتقاء صنعتی و پشتیبانی اطلاعاتی برای دولت تأکید دارد (لی و همکاران ۲۰۲۲، وانگ و همکاران ۲۰۲۳). در مقابل، دیدگاه دوم استدلال می‌کند که فناوری‌های دیجیتال و زیرساخت‌های مرتبط با آن به ورودی‌های انرژی قابل توجهی نیاز دارند که این موضوع منجر به افزایش انتشار کربن می‌شود (لی و وانگ ۲۰۲۲).

حکمرانی دیجیتال به‌طور بنیادین فناوری‌های دیجیتال را با صنایع سنتی ادغام نموده و به‌طور مؤثر دیجیتالی شدن صنعتی را ارتقا می‌دهد (هیلبرت ۲۰۲۰)، همچنین این امکان را فراهم می‌کند تا شرکت‌ها از تجزیه و تحلیل کلان داده‌ها برای نظارت بر انتشار آلاینده‌ها استفاده کنند و امکان پیکربندی مجدد عناصر منابع را در راستای کاهش مصرف انرژی داشته باشند. حکمرانی دیجیتال با بهینه نمودن تخصیص عوامل و به اشتراک گذاری اطلاعات و اتصال متقابل، کارآفرینی عمومی و ایجاد کسب و کارهای نوظهور سازگار با محیط‌زیست را نیز تحریک می‌کند. این بخش‌های نوظهور به‌طور مؤثر وابستگی به منابع انرژی سنتی را کاهش داده و زمینه لازم برای گذار به سمت اقتصاد کربن کم را فراهم می‌کنند (خو و همکاران ۲۰۲۵). این درحالی است که اگر چه حکمرانی دیجیتال با اثرات مثبت قابل توجهی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و بهبود کیفی هوا و محیط‌زیست همراه است، اما می‌تواند با پیامدهای منفی در این زمینه نیز همراه باشد. ارزیابی‌های انجام شده بر چرخه عمر محصولات دیجیتال نشان می‌دهد که کل فرآیند تولید محصولات دیجیتال، باعث انتشار قابل توجهی از کربن می‌شود (ژو و همکاران ۲۰۱۹). از سوی دیگر، حکمرانی دیجیتال در کشورهایی که ساختار انرژی آن‌ها تحت سلطه سوخت‌های فسیلی است می‌تواند به واسطه تولید تعداد زیادی ترمینال دیجیتال برای بازار عرضه، منجر به انتشار کربن اضافی شود. علاوه بر این، روی آوردن شرکت‌ها به دیجیتالی شدن در راستای صرفه‌جویی در هزینه‌ها و بدون توجه به توسعه سبز بلندمدت، باعث انتشار کربن اضافی می‌شود (یانگ و همکاران ۲۰۲۴).

مواد و روش‌ها

تصریح الگو

ژیشیانگ (۲۰۲۵) و لی و همکاران (۲۰۲۵) در نظر گرفته می‌شود. برای برآورد الگو به روش رگرسیون انتقال ملایم به پیروی از مطالعات گونزالز و همکاران (۲۰۱۷) و کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶) الگوی پژوهش به صورت الگویی دارای دو حد آستانه و یک تابع انتقال و به صورت زیر تصریح می‌شود:

$$STC_{it} = \pi_i + \alpha_1 NIFDI_{it} + \alpha_2 T_{it} + \alpha_3 GDP_{it} + \lambda_0 IQ_{it} F(GE_{it}, EGD_{it}, FDI_{it}; \gamma, c) + \mu_{it} \quad (۱)$$

$$t = 1, \dots, T \quad i = 1, \dots, N$$

سایت بانک جهانی استخراج می‌گردد. T_{it} بیانگر تجارت است که از نسبت مجموع صادرات و واردات به تولید ناخالص داخلی حاصل شده و مقیاس آن درصد است. داده‌های این متغیر از سایت بانک جهانی استخراج می‌شود. GDP_{it} تولید ناخالص داخلی است که ارزش پولی کل کالاها و خدمات نهایی تولید شده در داخل مرزهای یک کشور را در یک دوره زمانی خاص نشان می‌دهد. مقیاس این متغیر دلار به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵ است و داده‌های آن از سایت بانک جهانی استخراج می‌شود.

تابع $F(GE_{it}, EGD_{it}, FDI_{it}; \gamma, c)$ بیانگر تابع انتقالی است که پیوسته و کراندار بوده و بین صفر و یک قرار می‌گیرد. در این الگو متغیر انتقال از بین متغیرهای توضیحی یا وقفه متغیر وابسته و یا متغیر دیگری که خارج از الگو است ولی از لحاظ مبانی نظری با الگو مورد مطالعه مرتبط است و عامل ایجاد رابطه غیرخطی می‌باشد، قابل انتخاب است.

در رابطه ۱، حکمرانی دیجیتال (EGD_{it}) به عنوان متغیر انتقال و متغیرهای توسعه مالی (FDI_{it})، حکمرانی دیجیتال (EGD_{it}) و اثربخشی دولت (GE_{it}) به عنوان متغیرهای دارای اثر آستانه‌ای و متغیرهای تولید ناخالص داخلی، تجارت و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی به عنوان متغیرهای کنترلی در نظر گرفته می‌شوند. تابع انتقال به پیروی از گونزالز و همکاران (۲۰۱۷)، به صورت لاجستیکی به صورت زیر تصریح می‌گردد:

با توجه به محدودیت‌های موجود در مدل‌های خطی، بسیاری از مطالعات استفاده از انواع مختلف مدل‌های غیرخطی را برای تصریح رفتار غیرخطی موجود در سری‌های زمانی پیشنهاد کرده‌اند. در این مطالعه به منظور مدل‌سازی رفتار غیرخطی و تحلیل اثر آستانه‌ای حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی در کشورهای منتخب عضو پروتکل کیوتو به پیروی از دیگانگ و

در رابطه ۱ متغیرها عبارتند از:

STC_{it} بیانگر تغییرات دمایی به عنوان شاخص گرمایش جهانی است که مقیاس آن درجه سانتی‌گراد می‌باشد و داده‌های آن از سایت فائو (FAO)^۸ استخراج می‌شود. EGD_{it} بیانگر حکمرانی دیجیتال است که از شاخص توسعه دولت الکترونیک برای آن استفاده می‌شود. این شاخص معیاری مرکب از سه بعد مهم ارائه خدمات آنلاین، اتصال مخابراتی و ظرفیت انسانی است که بین صفر تا یک رتبه‌بندی می‌شود. داده‌های این شاخص از سایت سازمان ملل متحد (وزارت امور اقتصادی و اجتماعی)^۹ استخراج خواهد شد. GE_{it} بیانگر اثربخشی دولت است و منعکس‌کننده کیفیت خدمات عمومی، استقلال خدمات مدنی، اثربخشی تدوین و اجرای سیاست‌ها و اعتبار تعهدات دولت می‌باشد. این شاخص بین ۲/۵- تا ۲/۵ رتبه‌بندی شده و داده‌های آن توسط سایت بانک جهانی^{۱۰} منتشر شده است. FDI_{it} بیانگر شاخص توسعه مالی است که رتبه‌بندی نسبی کشورها بر اساس عمق، دسترسی و کارایی مؤسسات مالی و بازارهای مالی آن‌ها را نشان می‌دهد. مقیاس این شاخص ارزش بین ۰ تا ۱ است و داده‌های آن از سایت صندوق بین‌المللی پول^{۱۱} استخراج می‌گردد. $NIFDI_{it}$ بیانگر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی است که جریان خالص ورودی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نسبت به تولید ناخالص داخلی را نشان می‌دهد. مقیاس این متغیر به درصد است و داده‌های آن از

$$F(GE_{it}, EGD_{it}, FDI_{it}; \gamma, c) = [1 + \exp(-\gamma\pi(X_{it} - c_i))]^{-1}, \gamma > 0, c_1 \leq c_1 \leq \dots \leq c_m \quad (۲)$$

8- Food and Agriculture Organization of the United Nations

9- United Nations

10- World Bank

11- International Monetary Fund (IMF)

در معادله ۲، C_2 برداری m بعدی از مقدار حدهای آستانه‌ای است. γ نیز پارامتر شیب است که سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر را نشان می‌دهد. در الگوی PSTR ضرایب تخمینی با توجه

به مشاهدات متغیر انتقال و پارامتر شیب به صورت پیوسته میان دو حالت حدی $F=0$ و $F=1$ تغییر می‌یابد که این دو حالت حدی به صورت زیر تصریح می‌گردند:

$$Y = \begin{cases} \mu_i + \beta_0 X_{it} + u_{iu} & F = 0 \\ \mu_i + (\beta_0 + \beta_1) X_{it} + u_{it} & F = 1 \end{cases} \quad (3)$$

با یک تابع انتقال یکنواخت، دو رژیم حدی وجود خواهد داشت. چنانچه پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل کند، مدل PSTR به مدل دو رژیمی آستانه‌ای تابلویی PTR تبدیل می‌شود. در واقع، تابع انتقال زمانی که $q_{it} > C_1$ باشد، مقدار یک و در غیر اینصورت مقدار صفر را اختیار می‌کند. در حالت $m=2$ ، نقطه حداقل تابع انتقال در $\frac{(C_1+C_2)}{2}$ رخ می‌دهد و مقدار یک را برای مقادیر کمتر و بیشتر متغیر انتقال (IQ_{it}) لحاظ می‌کند و در صورتیکه پارامتر شیب به سمت بی‌نهایت میل کند، مدل PSTR تبدیل به یک مدل آستانه‌ای سه رژیمی می‌شود. اگر پارامتر شیب به سمت صفر میل کند، با هر تعداد حد آستانه‌ای، مدل PSTR، یک مدل رگرسیونی خطی یا همگن با اثرات ثابت خواهد بود (گونزالز و همکاران، ۲۰۱۷).

از آنجایی که پارامترهای انتقال، با پارامتر شیب در تابع انتقال متناسب هستند، می‌توان آزمون خطی بودن را انجام داد. مبنای کار در این آزمون، آماره‌های ضریب لاگرانژ والد (LM_W)، ضریب لاگرانژ فیشر (LM_F) و نسبت درست نمایی (LR) است که توسط کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶) ارائه شده‌اند. گام بعدی پس از تأیید وجود رابطه غیرخطی میان متغیرها، اطمینان از نبود رابطه غیرخطی در باقی‌مانده‌ها است. پس از اطمینان از غیرخطی بودن رابطه بین متغیرها، عدم وجود رابطه غیرخطی بین باقی‌مانده‌ها و انتخاب یک تابع انتقال، لازم است به تعیین انتخاب تعداد حدهای آستانه‌ای برای مدل نهایی پرداخته شود. گونزالز و همکاران (۲۰۱۷)، برای تبیین تغییرپذیری پارامترها، لحاظ کردن یک یا دو مقدار آستانه‌ای ($m=1$ یا $m=2$) را کافی دانسته و بیان می‌کنند که برای $m=1$ ، مدل PSTR با توجه به مقادیر کمتر و بیشتر متغیر انتقال (q_{it}) در مقایسه با مقدار حد آستانه‌ای (C_1) و

نتایج و بحث

آماره‌های توصیفی

۲۰۰۳ در جدول ۱ ارائه شده است.

آمار توصیفی مربوط به متغیرهای الگوی ۱ طی دوره زمانی ۲۰۲۳-

جدول ۱- آمار توصیفی متغیرهای پژوهش طی دوره زمانی (۲۰۲۳ - ۲۰۰۳)

متغیر	نماد	میانگین	حداقل	حداکثر
تغییرات دمایی (درجه سانتی‌گراد)	STC_{it}	۱/۳۹۰	-۰/۰۵۳	۲/۸۳۳
حکمرانی دیجیتال (ارزش ۰ تا ۱)	$EGDI_{it}$	۰/۵۲۵	۰	۰/۸۸۱
اثر بخشی دولت (امتیاز ۲/۵ تا ۴/۵)	GE_{it}	-۰/۲۵۲	-۱/۲۲۴	۱/۵۵۸
توسعه مالی (ارزش ۰ تا ۱)	FDI_{it}	۰/۲۹۷	۰/۰۵۳	۰/۵۸۵
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی (درصدی از تولید ناخالص داخلی)	$NIFDI_{it}$	۳/۹۶۳	-۵/۶۷۷	۵۵/۰۷۲
تجارت (درصدی از تولید ناخالص داخلی)	T_{it}	۸۲/۷۳۵	۲۴/۶۵۰	۱۸۴/۵۸۹
تولید ناخالص داخلی (دلار به قیمت ثابت سال ۲۰۱۵)	GDP_{it}	۱۲۵۵۴۴۹۳۰۹۰۸۹	۳۶۳۸۱۸۸۶۴۸	۵۱۳۵۲۷۲۴۶۰۸۶

۲۰۰۳ در کشور آذربایجان و میزان حداکثر ۲/۸۳۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به سال ۲۰۲۰ در کشور قزاقستان است. حکمرانی دیجیتال در دوره زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۳ در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۰/۵۲۵، میزان حداقل صفر مربوط به

مطابق با اطلاعات جدول ۱ تغییرات دمایی در دوره زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۳ در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۱/۳۹۰ درجه سانتی‌گراد، میزان حداقل -۰/۰۵۳ درجه سانتی‌گراد مربوط به سال

تولید ناخالص داخلی در دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۱۲۵۵۴۴۹۳۰۹۰۸۹ دلار، میزان حداقل ۳۶۳۸۱۸۸۶۴۸ دلار مربوط به سال ۲۰۰۳ در کشور تاجیکستان و میزان حداکثر ۵۱۳۵۲۷۲۴۶۰۸۶ دلار مربوط به سال ۲۰۲۳ در کشور ایران است.

نتیجه آزمون‌های آماری و برآورد الگو

برای بررسی مانایی داده‌های پانل می‌توان از آزمون‌های ریشه واحد دیکی فولر تعمیم‌یافته، لوین، لین و چاو، فیشر، ایم، شین و پسران، هادری و پسران استفاده کرد، که البته انتخاب آزمون مناسب از بین این آزمون‌ها در گام اول نیازمند بررسی وجود وابستگی مقطعی است، به‌طوری‌که در صورت وجود وابستگی مقطعی لازم است از آزمون پسران استفاده شود و در غیر اینصورت می‌توان از سایر آزمون‌ها استفاده نمود. نتایج آزمون وابستگی مقطعی پسران برای متغیرهای مدل ۱ در جدول ۲ ارائه شده است. فرضیه صفر در این آزمون عدم وجود وابستگی مقطعی در متغیرهای مورد آزمون است و فرضیه مخالف از وجود وابستگی مقطعی حکایت دارد.

سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ در کشور تاجیکستان و سال ۲۰۰۳ در کشور ازبکستان و میزان حداکثر ۰/۸۱ مربوط به سال ۲۰۲۳ در کشور قزاقستان است. اثربخشی دولت در دوره زمانی (۲۰۰۳-۲۰۲۳) در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۰/۲۵۲، میزان حداقل ۱/۲۲۴- مربوط به سال ۲۰۰۵ در کشور ازبکستان و میزان حداکثر ۱/۵۵۸ مربوط به سال ۲۰۰۹ در کشور قطر است. توسعه مالی در دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۰/۲۹۷، میزان حداقل ۰/۵۳ مربوط به سال ۲۰۰۵ در کشور تاجیکستان و میزان حداکثر ۰/۵۸۵ مربوط به سال ۲۰۱۰ در کشور قطر است. سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۳ در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۳/۹۶۳ درصد، میزان حداقل ۵/۶۷۷- درصد مربوط به سال ۲۰۲۲ در کشور آذربایجان و میزان حداکثر ۵۵/۰۷۲ درصد مربوط به سال ۲۰۰۳ در کشور آذربایجان است. تجارت در دوره زمانی (۲۰۰۳-۲۰۲۳) در کشورهای منتخب دارای میانگینی برابر با ۸۲/۷۳۵ درصد، میزان حداقل ۲۴/۶۵۰ درصد مربوط به سال ۲۰۰۳ در کشور پاکستان و میزان حداکثر ۱۸۴/۵۸۹ درصد مربوط به سال ۲۰۱۳ در کشور بحرین است.

جدول ۲ - نتیجه آزمون استقلال مقطعی پسران

فرضیه صفر: عدم وجود وابستگی مقطعی	
آماره CD	احتمال آماره
۱۳/۶۱	۰/۰۰۰

به وجود وابستگی مقطعی بین متغیرها، برای آزمون مانایی از آزمون تعمیم یافته پسران، که وجود وابستگی بین مقاطع را در نظر می‌گیرد، استفاده می‌شود. جدول ۳ نتایج آزمون ریشه واحد داده‌های پانلی را در سطح نمایش می‌دهد.

نتایج به‌دست آمده در جدول ۲ نشان می‌دهد که احتمال آماره آزمون CD از ۰/۰۱ کوچکتر است، بدین ترتیب فرضیه صفر مبنی بر عدم وجود وابستگی مقطعی در مدل پژوهش در سطح اطمینان ۹۹ درصد رد می‌شود و مقاطع به یکدیگر وابسته هستند. با توجه

جدول ۳ - نتایج آزمون مانایی پسران CIPS

فرضیه صفر: نامانا بودن متغیر				
نام متغیر	نماد متغیر	آماره t	احتمال آماره	نتیجه آزمون
گرمایش جهانی	STC_{it}	-۳/۷۸	<۰/۰۱	مانا در سطح اطمینان ۹۹ درصد
اثربخشی دولت	GE_{it}	-۱/۵۵	>۰/۱	نامانا
حکمرانی دیجیتال	$EGDI_{it}$	-۲/۲۷	<۰/۱	مانا در سطح اطمینان ۹۰ درصد
توسعه مالی	FDI_{it}	-۱/۸۴	>۰/۱	نامانا
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	$NIFDI_{it}$	-۴/۷۱	<۰/۰۱	مانا در سطح اطمینان ۹۹ درصد
تجارت	T_{it}	-۲/۰۳	>۰/۱	نامانا
تولید ناخالص داخلی	GDP_{it}	-۱/۶۲	>۰/۱	نامانا

سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی تایید می‌کند و بر این اساس متغیرهای مذکور در سطح مانا هستند. فرضیه صفر آزمون مانایی

مطابق با نتایج جدول ۳ آزمون مانایی عدم وجود ریشه واحد را برای متغیرهای گرمایش جهانی، حکمرانی دیجیتال و

را در مورد متغیرهای اثربخشی دولت، توسعه مالی، تجارت و تولید ناخالص داخلی نمی‌توان رد کرد و متغیرهای مذکور در سطح نامانا هستند. بدین ترتیب متغیرها ترکیبی از مانا و نامانا هستند. در چنین شرایطی دو راه حل برای برآورد مدل وجود دارد. راه حل اول استفاده از تفاضل مرتبه اول متغیرهای نامانا در مدل است که باعث از بین رفتن اطلاعات مرتبط با سطح متغیرها می‌شود. به دلیل اینکه هدف این پژوهش بررسی رابطه غیرخطی میان متغیرهاست، لازم است از متغیرها در سطح استفاده شود. بدین

ترتیب از راه حل دوم به پیروی از کادیلی و مارکوف (۲۰۱۱) مبنی بر انجام آزمون مانایی برای پسماندهای بخش خطی و غیرخطی مدل PSTR استفاده می‌شود. بر این اساس پسماندهای بخش خطی و غیرخطی حاصل از مدل PSTR استخراج شده و مانایی آن‌ها بررسی می‌شود. چنانچه پسماندهای بخش خطی و غیرخطی مدل مانا در سطح باشند می‌توان بدون نگرانی از بروز رگرسیون کاذب به برآورد مدل اقدام نمود. جدول ۴ نتایج آزمون مانایی برای پسماندهای بخش خطی و غیرخطی مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۴ - نتایج آزمون مانایی پسماندهای بخش خطی و غیرخطی مدل

نام متغیر	آماره t	احتمال آماره	نتیجه آزمون
پسماند بخش خطی	-۵/۰۵	<۰/۰۱	مانا در سطح اطمینان ۹۹ درصد
پسماند بخش غیرخطی	-۵/۷۶	<۰/۰۱	مانا در سطح اطمینان ۹۹ درصد

نتایج جدول ۴ بیانگر آن است که پسماندهای بخش خطی و غیرخطی مدل برآوردی به روش PSTR مانا هستند و نگرانی از بروز رگرسیون کاذب وجود ندارد. شرط استفاده از روش PSTR اطمینان از غیرخطی بودن مدل است. بدین ترتیب آزمون تشخیص خطی یا غیرخطی بودن مدل با فرضیه صفر خطی بودن

مدل و فرضیه مخالف غیرخطی بودن مدل انجام می‌شود. در صورتی که احتمال آماره از ۰/۰۵ کوچکتر باشد، فرضیه خطی بودن رد می‌شود و غیرخطی بودن مدل نتیجه گرفته می‌شود. نتایج مربوط به آزمون تشخیصی خطی بودن مدل در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵ - نتیجه آزمون خطی بودن مدل

فرضیه صفر: خطی بودن مدل	
آماره LR	احتمال آماره
۰/۷۴	۰/۰۰۰

مطابق با نتایج جدول ۵، آماره LR برای تشخیص خطی بودن مدل در سطح معنی‌داری ۹۹ درصد از وجود رابطه غیرخطی میان متغیرهای مدل حکایت دارد.

اکنون که از غیرخطی بودن مدل اطمینان حاصل شد، به تعیین تعداد وقفه‌های بهینه پرداخته می‌شود. در روش رگرسیون انتقال ملایم برای تعیین تعداد وقفه‌های بهینه ابتدا برای متغیرها ۴ وقفه در نظر گرفته می‌شود و سپس بر اساس بالاترین وقفه معنادار، وقفه بهینه هر متغیر انتخاب می‌شود. در الگوی پژوهش حاضر تعداد وقفه بهینه برای متغیر وابسته گرمایش جهانی، حکمرانی دیجیتال، اثربخشی دولت و توسعه مالی برابر با ۱ حاصل شد.

پس از تعیین وقفه‌های بهینه اقدام به تعیین تعداد مکان‌های آستانه‌ای می‌شود. بر اساس پیشنهاد کولیتاز و هارولین (۲۰۰۶) مدل در دو حالت وجود یک حد آستانه و وجود دو حد آستانه تخمین زده می‌شود. سپس در هر یک از این حالات مقادیر مجموع مجذور باقی‌مانده‌ها با استفاده از معیارهای آکائیک (AIC)^{۱۲} و شوارتز (SIC)^{۱۳} با یکدیگر مقایسه می‌شود و مدلی که دارای مقدار آماره کوچکتری است پذیرفته می‌شود. در صورتی که نتایج معیارهای آکائیک و شوارتز با هم یکسان نباشد، بهتر است معیار شوارتز بیزین ملاک انتخاب قرار بگیرد.

جدول ۶ - نتیجه آزمون تعیین تعداد حدهای آستانه‌ای

تعداد حد آستانه	مجموع مجذور باقیمانده‌ها	معیار آکائیک	معیار شوارتز
۱	۲/۶۳	-۴۲۰/۷۴	-۳۵۶/۶۵
۲	۲/۸۸	-۴۱۶/۸۶	-۳۲۷/۸۵

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که مدل با وجود یک حد آستانه از معیار آکائیک و شوارتز کوچک‌تری نسبت به مدل دارای دو حد آستانه برخوردار است. بنابراین مدل با وجود یک حد آستانه کارایی بیشتری دارد. نتایج حاصل از برآورد مدل با یک حد آستانه و دو رژیم حدی در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷ - نتایج برآورد الگوی ۱ به روش PSTR

متغیر وابسته: گرمایش جهانی STC_{it}			متغیر انتقال: حکمرانی دیجیتال $EGDI_{it}$		
متغیرهای آستانه‌ای					
نام متغیر		نماد	بخش خطی (رژیم اول)		بخش غیرخطی (رژیم دوم)
ضریب	آماره t	احتمال آماره	ضریب	آماره t	احتمال آماره
وقفه اول گرمایش جهانی	STC_{it}	۰/۵۱	۱۶/۰۷	۰/۰۰۰***	۷/۳۸
شاخص حکمرانی دیجیتال	$EGDI_{it}$	۰/۴۶	۴/۲۷	۰/۰۰۰***	۵/۴۱
وقفه اول شاخص حکمرانی دیجیتال	$EGDI_{i(t-1)}$	-۰/۱۳	-۰/۷۶	۰/۴۴۸	-۱/۹۴
شاخص اثربخشی دولت	GE_{it}	-۰/۱۷	-۱/۸۳	۰/۰۷۳*	۱/۱۰
وقفه اول شاخص اثربخشی دولت	$GE_{i(t-1)}$	-۰/۰۶	-۰/۳۴	۰/۷۳۱	-۲/۰۰
شاخص توسعه مالی	FDI_{it}	۰/۰۴	۱/۸۰	۰/۰۷۵*	-۲/۱۷
وقفه اول شاخص توسعه مالی	$FDI_{i(t-1)}$	-۰/۰۶	-۱/۸۹	۰/۰۶۱*	-۰/۰۴
متغیرهای کنترل					
نام متغیر	نماد	ضریب	آماره t	احتمال آماره	
سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی	$NIFDI_{it}$	-۰/۲۶	-۲/۳۶	۰/۰۱۹**	
تجارت	T_{it}	۰/۰۳	۰/۳۶	۰/۷۱۹	
تولید ناخالص داخلی	GDP_{it}	۰/۴۰	۲/۳۷	۰/۰۱۹**	
عرض از مبدأ	C	۰/۲۳	۳/۲۷	۰/۰۰۱***	
حدآستانه متغیر انتقال حکمرانی دیجیتال $EGDI_{it} = ۰/۷۴$ شیب تابع انتقال $= ۰/۵۰$ درجه آزادی = ۲۵					
***، ** و * به ترتیب بیانگر معناداری در سطح اطمینان ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد است					

اول اثر مثبت و در رژیم دوم اثر منفی داشته است که بیانگر وجود رابطه‌ای به شکل U معکوس می‌باشد.

وقفه اول شاخص اثربخشی دولت در رژیم اول اثر معناداری بر گرمایش جهانی نداشته، اما مقدار جاری شاخص اثربخشی دولت اثر منفی و معنادار برابر با ۰/۱۷- داشته است. در رژیم دوم مقدار جاری شاخص حکمرانی دیجیتال اثر معناداری نداشته و وقفه اول شاخص حکمرانی دیجیتال اثر منفی و برابر با ۲- بر گرمایش جهانی داشته است. بدین ترتیب شاخص اثربخشی دولت در هر دو رژیم اثر منفی بر گرمایش جهانی داشته اما این اثر در رژیم دوم به شدت تقویت شده است.

وقفه اول شاخص توسعه مالی در رژیم اول اثر منفی و برابر با ۰/۰۶- و مقدار جاری شاخص توسعه مالی اثر مثبت و برابر با ۰/۰۴ داشته است. بدین ترتیب برآیند اثر شاخص توسعه مالی در رژیم اول برابر با ۰/۰۲- می‌باشد. در رژیم دوم مقدار جاری شاخص توسعه مالی اثر منفی و برابر با ۰/۲۶- داشته است در حالی که وقفه اول شاخص توسعه مالی اثر معناداری بر گرمایش

مطابق با نتایج جدول ۷ مقدار حد آستانه متغیر انتقال حکمرانی دیجیتال برابر با ۰/۷۴ حاصل شده است. این حد بیانگر نقطه انتقال تابع گرمایش جهانی است و شروع رژیم حدی دوم را نشان می‌دهد. شیب تابع انتقال که سرعت انتقال از رژیم اول به رژیم دوم را نشان می‌دهد برابر با ۰/۵۰ حاصل شده است.

در روش رگرسیون انتقال ملایم برآیند ضرایب متغیرها در دوره جاری و وقفه‌های معنادار آن‌ها در هر رژیم در نظر گرفته می‌شود. بر این اساس مطابق با جدول ۷ وقفه اول شاخص حکمرانی دیجیتال در رژیم اول اثر معناداری بر گرمایش جهانی نداشته، اما مقدار جاری شاخص حکمرانی دیجیتال اثر مثبت و معنادار برابر با ۰/۴۶ داشته است. در رژیم دوم مقدار جاری شاخص حکمرانی دیجیتال اثر مثبت و برابر با ۰/۵۷ و وقفه اول شاخص حکمرانی دیجیتال اثر منفی و برابر با ۰/۷۶- بر گرمایش جهانی داشته است. بدین ترتیب برآیند ضرایب شاخص حکمرانی دیجیتال در رژیم دوم برابر با ۰/۱۹- است. بر این اساس حکمرانی دیجیتال در رژیم

ناخالص داخلی اثر مثبت و برابر با ۰/۴ بر گرمایش جهانی داشته است. متغیر کنترلی تجارت خارجی اثر معناداری بر گرمایش جهانی نداشته است.

پس از برآورد مدل به روش PSTR لازم است از عدم وجود رابطه غیرخطی اضافه در اجزای باقیمانده یا به عبارتی اجزای اخلاص اطمینان حاصل کرد. فرضیه صفر این آزمون دال بر عدم وجود رابطه غیرخطی اضافی در اجزای خطاست و فرضیه مخالف بر وجود رابطه غیرخطی اضافی در اجزای خطا دلالت دارد. نتیجه آزمون مذکور در جدول ۸ گزارش شده است.

جهانی نداشته است. بدین ترتیب شاخص توسعه مالی در هر دو رژیم اثر منفی بر گرمایش جهانی داشته، اما این اثر در رژیم دوم به شدت تقویت شده است.

وقفه اول گرمایش جهانی در رژیم اول و دوم به ترتیب اثرات مثبت و برابر با ۰/۵۱ و ۰/۴۷ بر گرمایش جهانی دوره جاری داشته است. ملاحظه می‌شود که این متغیر در هر دو رژیم اثر مثبت داشته اما این اثر در رژیم دوم تقویت شده است.

متغیر کنترلی سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر منفی و برابر با ۰/۲۶- بر گرمایش جهانی داشته است. متغیر کنترلی تولید

جدول ۸ - نتیجه آزمون باقی نماندن رابطه غیرخطی اضافی در جزء خطا

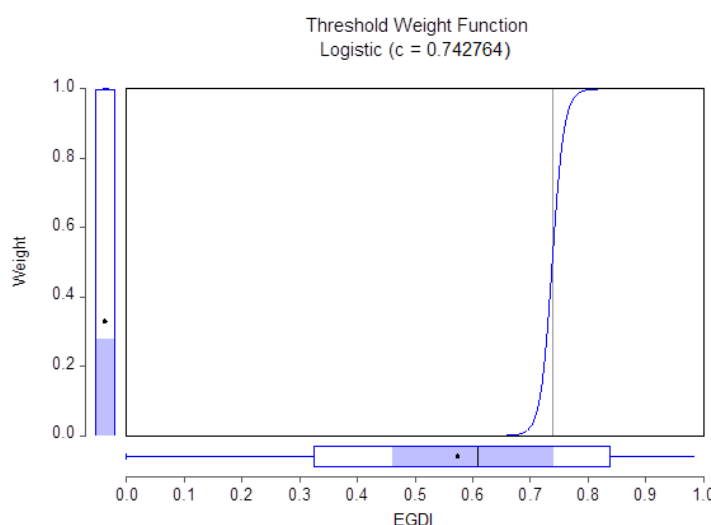
فرضیه صفر: عدم وجود رابطه غیرخطی اضافی در اجزای خطا	
آماره F	احتمال آماره
۱۲/۶۵	۰/۹۰۰۰

تابع انتقال یک تابع لجستیک، پیوسته و کراندار بین صفر و یک است که به متغیر انتقال (EGDI_it) وابسته است و انتقال ملایم بین رژیم‌ها را نشان می‌دهد. تابع انتقال برای الگوی پژوهش با توجه به پارامترهای شیب ($\gamma=0/50$) و حدآستانه ($c=0/74$) به صورت رابطه ۴ می‌باشد.

مطابق با نتایج جدول ۸، با توجه به اینکه احتمال آماره F از ۰/۰۵ بزرگ‌تر است، فرضیه صفر آزمون مبنی بر عدم وجود رابطه غیرخطی اضافه در اجزای خطا رد نمی‌شود. بدین ترتیب می‌توان از صحت مدل برآورد شده مطمئن بود.

$$F(GE_{it}, EGDI_{it}, FDI_{it}; \gamma, c) = [1 + \exp(-\gamma(G_{it} - c_i))]^{-1} = [1 + e^{(-0/50 \times (GI_{it} - 0/74)}]^{-1} \quad (4)$$

نمودار ۱ شکل تابع انتقال و حدآستانه متغیر انتقال را نشان می‌دهد.



شکل ۱ - شکل تابع انتقال و حدآستانه متغیر انتقال

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف تحلیل اثر حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی در منتخبی از کشورهای عضو پروتکل کیوتو طی دوره زمانی ۲۰۲۳-۲۰۰۳ و با استفاده از روش رگرسیون انتقال ملایم تابلویی (PSTR) انجام شد. نتایج حاصل از این پژوهش به شرح ذیل می‌باشد:

۱- شاخص حکمرانی دیجیتال در سطح اطمینان ۹۹ درصد در رژیم اول اثر مثبت و در رژیم دوم اثر منفی بر گرمایش جهانی داشته است. به عبارتی رابطه‌ای به شکل U معکوس بین حکمرانی دیجیتال و گرمایش جهانی وجود دارد. مبتنی بر مبانی نظری در مراحل اولیه الکترونیک شدن دولت به دلیل لزوم استفاده از انرژی از جمله انرژی‌های فسیلی، روغن، الکتریسیته و آب برای توسعه، تولید، توزیع و نصب دستگاه‌ها و تجهیزات فناوری اطلاعات و ارتباطات، انتشار گازهای آلاینده و ایجاد زباله و به دنبال آن گرمایش جهانی در کشورهای مورد بررسی افزایش یافته است و در واقع اثر جبرانی از طریق اثرات مستقیم پدید آمده است. این در حالی است که با رسیدن شاخص حکمرانی دیجیتال به حد آستانه و گسترش و ثبات نسبی در ارائه خدمات الکترونیکی دولت، اثرات غیرمستقیم ناشی از کاهش حمل و نقل برای انجام امور اداری دولتی و کاهش لزوم استفاده از انرژی برای ارائه خدمات به صورت حضوری اثر جانشینی مبتنی بر کاهش انتشار آلاینده‌ها پدید آمده است. اثر جانشینی با غلبه بر اثر جبرانی منجر به منفی شدن اثر حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی شده است. این یافته مبنی بر اثر مثبت حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی که در رژیم اول بروز پیدا کرده است با نتایج مطالعات صالح‌نیا و همکاران (۱۴۰۳) دیگانگ و ژیشیانگ (۲۰۲۵) همسو می‌باشد. تاثیر بهبوددهنده حکمرانی دیجیتال بر گرمایش جهانی که در رژیم دوم بروز پیدا کرده است، با نتایج مطالعات وفادار و همکاران (۱۴۰۴) محمدی و همکاران (۱۴۰۲) یی (۲۰۲۵) ژانگ و همکاران (۲۰۲۵) فنگ و همکاران (۲۰۲۴) منگ و همکاران (۲۰۲۴) مطابقت دارد. از طرفی آریان‌فر و علمی (۱۴۰۳) جعفری پرویزخانلو و همکاران (۱۴۰۰) لی و همکاران (۲۰۲۵) نیز به تاثیر U معکوس بین اجزای فناوری دیجیتال و تغییرات اقلیمی دست یافته‌اند.

۲- شاخص اثربخشی دولت در رژیم اول در سطح اطمینان ۹۰ درصد و در رژیم دوم در سطح اطمینان ۹۵ درصد اثر منفی بر گرمایش جهانی داشته اما این اثر در رژیم دوم تقویت شده است. اثربخشی مقررات دولتی، هم‌چون صدور مجوزها و پروانه‌ها، سیاست‌های مالیاتی، قوانین و مقررات و توسعه یک سیستم هدف‌گذاری برای انتشار کربن ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مبتنی بر بازار، نقش

حیاتی در کیفیت محیط‌زیست ایفا می‌کند. راهنمایی و هدایت عملی دولت برای بنگاه‌ها و افراد نیز به منظور کاهش انتشار کربن یک امر ضروری است، به طوری که اقدامات نوآورانه در این زمینه می‌تواند منجر به ترویج و تشویق به اشتغال در مشاغل سازگار با محیط‌زیست گردد. از سوی دیگر یک دولت با اثربخشی بالا قادر است ساکنان شهری را تشویق کند تا سبک زندگی سالم‌تر و سازگارتر با محیط‌زیست را از طریق اقداماتی هم‌چون استفاده بیشتر از حمل و نقل عمومی در پیش بگیرند. دولت‌ها همچنین می‌توانند با کنترل هزینه‌های مالی بر انتشار کربن تأثیر بگذارند، زیرا هزینه‌های مالی و مصرف انرژی از عوامل ضروری در دستیابی به سطوح بهینه بهره‌وری کربن هستند. این یافته مبنی بر تأثیر اثربخشی دولت در کاهش گرمایش جهانی با نتایج مطالعه لی و یان (۲۰۲۴) مطابقت دارد.

۳- شاخص توسعه مالی در رژیم اول در سطح اطمینان ۹۰ درصد و در رژیم دوم در سطح اطمینان ۹۵ درصد اثر منفی بر گرمایش جهانی داشته و این اثر در رژیم دوم شدت یافته است. توسعه مالی نه تنها از طریق تأمین مالی برای سرمایه‌گذاران بخش خصوصی به رشد اقتصادی در بلندمدت کمک می‌کند، بلکه با ایجاد زمینه‌های لازم به منظور حمایت از ایده‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، نقش مهمی در بهبود پایداری زیست‌محیطی دارد. علاوه بر این توسعه مالی بر کیفیت سازمانی، استفاده بهینه از انرژی و در نتیجه کاهش مصرف انرژی تأثیر قابل توجهی دارد. در حقیقت توسعه مالی و به دنبال آن برقراری یک سیستم مالی باثبات، از طریق افزایش دسترسی افراد به منابع مالی، ضمن بهبود استانداردهای زندگی و توسعه اقتصادی، باعث توسعه فناوری‌های مدرن و کارآمد در زمینه انرژی و محیط‌زیست و در نتیجه کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی می‌شود. توسعه مالی با تسهیل مشارکت سرمایه‌گذاران بخش خصوصی و دولتی در پروژه‌های انرژی پاک، تنوع ریسک و هزینه‌های واسطه‌ای را کاهش می‌دهد و در کنار آزادسازی بازار سرمایه، زمینه لازم جهت انتقال فناوری‌های سبز و تحقیق و توسعه در این زمینه را فراهم می‌کند. ۴- متغیر کنترل سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اثر منفی بر گرمایش جهانی داشته است. بر این اساس در کشورهای مورد مطالعه توانسته از طرقی همچون به کارگیری تکنولوژی‌های پیشرفته و مبتنی بر انرژی‌های پاک و ایجاد اثر سرریز فناوری، کیفیت محیط‌زیست کشورهای میزبان را بهبود ببخشد و به ایجاد محیطی پاک‌تر و کاهش گرمایش جهانی کمک کند.

۵- متغیر کنترلی تولید ناخالص داخلی در سطح اطمینان ۹۵ درصد اثر مثبت بر گرمایش جهانی داشته است. بر این اساس تلاش کشورهای مورد مطالعه برای افزایش تولید ناخالص داخلی و دستیابی به رشد اقتصادی بالاتر، از طریق افزایش تقاضای انرژی، رشد جمعیت و افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای با تشدید بحران‌های اقلیمی همراه شده است. با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهاداتی به صورت زیر قابل ارائه است:

از آن جایی که شاخص حکمرانی دیجیتال در رژیم اول اثری مثبت و در رژیم دوم اثری منفی بر گرمایش جهانی داشته است، در واقع در مراحل ابتدایی الکترونیکی شدن به واسطه استفاده از انرژی‌های مختلف برای توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات گرمایش جهانی تشدید و با رسیدن شاخص حکمرانی دیجیتال به حد آستانه و به دنبال کاهش نیاز به استفاده حمل و نقل برای انجام امور اداری دولتی گرمایش جهانی کاهش یابد. بر همین اساس توسعه حکمرانی دیجیتال به عنوان یک هدف مطلوب ولی با حداقل نمودن آثار مخرب بر اقلیم باید دنبال شود. دولت‌ها می‌توانند از طریق تعامل با جامعه دانشگاهی بین‌المللی و جذب سرمایه‌گذاران خارجی، امکان استفاده از انرژی‌های پاک در مراحل آغازین توسعه حکمرانی دیجیتال را فراهم نمایند.

مطابق با اثر منفی شاخص اثربخشی دولت در هر دو رژیم اول و دوم و تشدید اثر آن در رژیم دوم، اثر مداوم اثربخشی دولت در کاهش گرمایش جهانی نتیجه‌گیری شد. از این رو انتشار اطلاعات و عملکرد دولت به صورت شفاف، مشارکت دادن شهروندان در تصمیم‌گیری‌های دولتی، بررسی منظم عملکرد دولت و شناسایی نقاط ضعف و قوت و بازنگری و اصلاح قوانین و مقررات ناکارآمد، می‌تواند با افزایش اثربخشی دولت به عنوان راهکارهایی در جهت کاهش گرمایش جهانی محسوب شوند.

از آن جایی که بهبود شاخص توسعه مالی در هر دو رژیم اول و دوم باعث کاهش گرمایش جهانی شده و این اثرگذاری در رژیم دوم تشدید شده است، پیشنهاد می‌گردد تا دولت‌ها از طریق توسعه همکاری‌های بین‌المللی در زمینه توسعه مالی، ارتقاء دانش مالی شهروندان، تسهیل ورود شرکت‌های جدید به بازار و کاهش مقررات دست و پاگیر، ارائه تسهیلات مالی و مشوق‌های مختلف برای استارت‌آپ‌ها و شرکت‌های نوآور و ارائه خدمات بانکی به مناطق دورافتاده، زمینه لازم به منظور توسعه مالی و در نتیجه کاهش گرمایش جهانی را فراهم نمایند.

مطابق با تأثیر سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی در کاهش گرمایش جهانی نیز پیشنهاد می‌شود تا دولت‌های از طریق بهبود فضای کسب و کار، کاهش موانع سرمایه‌گذاری، ارائه مشوق‌های مالیاتی و افزایش ثبات سیاسی و اقتصادی، انگیزه سرمایه‌گذاران خارجی به منظور سرمایه‌گذاری در امور زیرساختی کشورهاشان را افزایش دهند.

مطابق با نتایج به دست آمده مبنی بر تشدید گرمایش جهانی به دنبال افزایش تولید ناخالص داخلی، استفاده از فناوری‌های مدرن تولیدی و کارشناسان خبره در زمینه کاهش آلاینده‌های صنعتی می‌تواند باعث تخفیف اثرات منفی تولیدات صنعتی بر اقلیم شود. نتایج این پژوهش بینش‌های عملی و قابل اجرا برای سیاست‌گذاران، مدیران دولتی و رهبران اجرایی ارائه می‌دهد که در حال پیگیری تحول دیجیتال (حکمرانی دیجیتال) همزمان با تعهدات اقلیمی هستند، به‌ویژه با مشخص کردن حد آستانه و نقطه شروع انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر، امکان زمان‌بندی مبتنی بر شواهد را فراهم می‌کند. به گونه‌ای که هدایت حکمرانی دیجیتال به سمت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و کاهش هزینه‌های سالانه گرمایش جهانی به مزیت رقابتی پایدار برای دولت‌ها و شرکت‌ها فراهم می‌نماید.

References

1. Adjei-Bamfo, P., Maloreh-Nyamekye, T., & Ahenkan, A. (2019). The role of e-government in sustainable public procurement in developing countries: A systematic literature review. *Resources, Conservation and Recycling*, 142, 189–203. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.12.005
2. Al-Ghussain, L. (2019). Global warming: Review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 38(1), 13–21. DOI: 10.1002/ep.12971
3. Amanta, F., Kumar, P., Seger, M., & Vrain, E. (2024). The Impacts of Digitalised Daily Life on Climate Change. *Environmental Change Institute, University of Oxford*. Available from <https://www.thebritishacademy.ac.uk/documents/5500/Digital-Society-Amanta-et-al.pdf>. DOI: N/A
4. Aryafar, F., & Elmi, Z. (M.). (2024). The Impact of Information and Communication Technology on Ecological Footprint in Oil-Exporting Countries. *Economic Research and Perspectives*, 24(2), 27-58. DOI: 10.22034/24.2.27 [In Persian]
5. Bai, T., Qi, Y., Li, Z., & Xu, D. (2023). Digital economy, industrial transformation and upgrading, and spatial transfer of carbon emissions: The paths for low-carbon transformation of Chinese cities. *Journal of Environmental Management*, 344, 118528. DOI: 10.1016/j.jenvman.2023.118528
6. Bokhari, S. A. A., & Myeong, S. (2022). Use of artificial intelligence in smart cities for smart decision-making: A social innovation perspective. *Sustainability*, 14(2), 620. DOI: 10.3390/su14020620
7. Butt, J., & Abdelaziz, D. K. A. (2025). Sustainable Governance in the Digital Age: E-Government Innovations for Climate Action. *Journal of Recycling Economy & Sustainability Policy*, 4(1), 54-69. DOI:10.13140/RG.2.2.12867.31521
8. Castro, C., & Lopes, I. C. (2022). Digital Government and Sustainable Development. *Journal of the Knowledge Economy*, 13(2), 880–903. DOI: 10.1007/s13132-021-00749-2
9. Colletaz, G., & Hurlin, C. (2006). Threshold effects of the public capital productivity: an international panel smooth transition approach. DOI: N/A
10. D'Amato, G., & Akdis, C. (2020). Global warming, climate change, air pollution and allergies. *Authorea Preprints*. DOI: N/A
11. Dalaei, H.; Farajzadeh Asl, M.; Gandomkar, A., & Nami, M. H. (2016). Analysis of Extreme Precipitation Indices in the Period 1981-2010 with Military Approach. *Defense Strategy*, 14(2(54)), 155-177. DOI: N/A [In Persian]
12. Degang, Z., & Zhixiang, Z. (2025). The impact of digital governance on urban carbon emissions: Quasi-natural experimental evidence based on "National pilot policy of information benefiting the people". *Journal of Cleaner Production*, 500, 145287. DOI: 10.1016/j.jclepro.2025.145287
13. Dimian, G. C., Maftai, M., Jablonský, J., Marin, E., & Olaru, S. M. (2025). The Influence of Digitalization on Greenhouse Gas Emissions in European Union. The Analysis of Mediating Effect of Renewable Energy Consumption. *Journal of the Knowledge Economy*. DOI: 10.1007/s13132-025-02657-1
14. Fathian, M., & Mahdavi Noor, H. (2019). *Fundamentals and Management of Information Technology* (20th ed.). Tehran: Iran University of Science and Technology Press. DOI: N/A [In Persian]
15. Fearnside, P. M., & Laurance, W. F. (2004). Tropical deforestation and greenhouse-gas emissions. *Ecological Applications*, 14(4), 982–986. DOI: 10.1890/03-5220
16. Feng, Y., Liu, G., Meng, X., Jiang, K., Huang, R., Zhang, C., ... & Pan, Y. (2024). How does digital government affect carbon intensity at the global level? New perspective of resource allocation optimization. *Resources Policy*, 94, 105108. DOI: 10.1016/j.resourpol.2024.105108
17. Friedlingstein, P., Houghton, R. A., Marland, G., Hackler, J., Boden, T. A.,

- Conway, T. J., ... & Le Quéré, C. (2010). Update on CO₂ emissions. *Nature Geoscience*, 3(12), 811–812. DOI: 10.1038/ngeo1022
18. Gonzalez, A., Teräsvirta, T., Van Dijk, D., & Yang, Y. (2017). Panel smooth transition regression models. DOI: N/A
 19. Grigalashvili, V. (2023). Digital government and digital governance: grand concept. *International Journal of Scientific and Management Research*, 6(01), 01–25. DOI: N/A
 20. Han, H., Wu, T., Hai, C., & Zhou, N. (2023). The impact of E-government on air quality: new evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*. DOI:10.3389/fenvs.2023.1294039
 21. Hao, X., Wang, X., Wu, H., & Hao, Y. (2023). Path to sustainable development: Does digital economy matter in manufacturing green total factor productivity? *Sustainable Development*, 31(1), 360–378. DOI: 10.1002/sd.2390
 22. Hassan, N. E. (2024). Global warming: Causes, impacts and urgent strategies for a sustainable future: A review. *GSC Advanced Research and Reviews*, 20(3), 73–87. DOI: 10.30574/gscarr.2024.20.3.0337
 23. Hassana, N. E., & Umerb, M. I. (2022). Impacts of greenhouse gas emissions on ambient air quality in kwashe municipal solid waste landfill in Kurdistan region, Iraq. *Eurasian Chemical Communications*, 4(10), 1012–1021. DOI: N/A
 24. Hilbert, M. (2020). Digital technology and social change: the digital transformation of society from a historical perspective. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, 22(2), 189–194. DOI: 10.31887/DCNS.2020.22.2/mhilbert
 25. Jafariparvizkhanlou, K., Paytkhati Oskoei, S. A., & Azali, R. (2021). Investigating the Impact of ICT and Economic Growth on Environmental Pollution: Case Study of Persian Gulf Countries. *Scientific Quarterly Journal of Studies and Economic Policies*, 8(1), 111–138. DOI: 10.22096/esp.2021.129466.1364 [In Persian]
 26. Jahangard, E.; Mohammadi, T.; Ghasemi, A., & Iranshahi, Z. (2023). The Impact of ICT on Carbon Dioxide Emissions: A Panel Smooth Transition Regression Model (PSTR). *Journal of New Economy and Trade*, 18(4), 75–107. DOI: 10.30465/jnet.2024.45679.2047 [In Persian]
 27. Jiao, S., & Sun, Q. (2021). Digital economic development and its impact on economic growth in China: Research based on the perspective of sustainability. *Sustainability*, 13(18), 10245. DOI: 10.3390/su131810245
 28. Ju, S., Andriamahery, A., Qamruzzaman, M., & Kor, S. (2023). Effects of financial development, FDI and good governance on environmental degradation in the Arab nation: Dose technological innovation matters?. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1094976. DOI:10.3389/fenvs.2023.1094976
 29. Kuang, H., Akmal, Z., & Li, F. (2022). Measuring the effects of green technology innovations and renewable energy investment for reducing carbon emissions in China. *Renewable Energy*, 197, 1–10. DOI: 10.1016/j.renene.2022.07.056
 30. Li, C., Chen, X., & Yuan, C. (2025). Does digital government reduce carbon emissions? Empirical evidence from global sources. *Journal of Environmental Management*, 380, 125081. DOI: 10.1016/j.jenvman.2025.125081
 31. Li, F., & Yan, J. (2024). How do e-government and green technology innovation affect carbon emissions: Evidence from resource-rich countries in the Shanghai Cooperation Organization. *Energy Reports*, 12, 4026–4033. DOI: 10.1016/j.egyr.2024.09.078
 32. Li, J., Chen, L., Chen, Y., & He, J. (2022). Digital economy, technological innovation, and green economic efficiency—Empirical evidence from 277 cities in China. *Managerial and Decision Economics*, 43(3), 616–629. DOI: 10.1002/mde.3403
 33. Li, Z., & Wang, J. (2022). The dynamic impact of digital economy on carbon emission reduction: evidence city-level empirical data in China. *Journal of Cleaner Production*, 351, 131570. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.131570
 34. Liu, Y., Zhang, X., & Shen, Y. (2024). Technology-driven carbon reduction:

- analyzing the impact of digital technology on China's carbon emission and its mechanism. *Technological Forecasting and Social Change*, 200, 123124. DOI: 10.1016/j.techfore.2023.123124
35. Luo, S., Yimamu, N., Li, Y., Wu, H., Irfan, M., & Hao, Y. (2023). Digitalization and sustainable development: How could digital economy development improve green innovation in China? *Business Strategy and the Environment*, 32(4), 1847–1871. DOI: 10.1002/bse.3215
 36. Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013). *Disruptive Technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. McKinsey Global Institute. DOI: N/A
 37. Maslin, M. (2008). *Global warming: A very short introduction*. OUP Oxford. DOI: 10.1093/actrade/9780199557998.001.0001
 38. Meng, C., Wang, L., & Lin, Y. (2024). Digital governance and carbon emission reduction: Evidence from “National Pilot Policy of Information Benefiting the People” in China. *Journal of Environmental Management*, 368, 122179. DOI: 10.1016/j.jenvman.2024.122179
 39. Mirbagheri, A. (2025). Opportunities and Challenges of Expanding the Digital Economy for Sustainable Economic Growth in Iran by 1410. *EAB Journal*, 1(2), 94-120. DOI: N/A [In Persian]
 40. NOAA National Centers for Environmental Information. (2024). *Monthly Global Climate Report for Annual 2024*, published online January 2025, retrieved on November 4, 2025 from <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413>. DOI: N/A
 41. Nunes, L. J. (2025). Climate Change in the Porto Region (Northern Portugal): A 148 Years Study of Temperature and Precipitation Trends (1863–2010). *Climate*, 13(9), 175. DOI: 10.3390/cli13090175
 42. Pande, S., Chandani, A., & Waghlikar, S. (2025). Digital governance across whole-of-the-government: Opportunities and challenges. *Financial Internet Quarterly*, 21(1), 67–75. DOI: N/A
 43. Patnaik, P., & Bakkar, M. (2024). Exploring determinants influencing artificial intelligence adoption, reference to diffusion of innovation theory. *Technology in Society*, 79, 102750. DOI: 10.1016/j.techsoc.2024.102750
 44. Rahmati, S. (2025). The Role of the Metaverse in Addressing the Consequences of Climate Change to Enhance Urban Resilience. *Journal of Human Ecology*, 4(11), 957-977. DOI: 10.22034/el.2025.511464.1070 [In Persian]
 45. Salehnia, N.; Souri Naseri, N., & Rezaei, V. (2024). Analysis of the Role of Institutional Economics in Regulating Environmental Policies: The Impact of Internet, Democratic Trends, and Government Service Provision on CO2 Emissions Using Panel Quantile Model (Case Study: Global Sample). *International Journal of Economic Research*, 29(101), 237-280. DOI: 10.22054/ijer.2025.80119.1286 [In Persian]
 46. Schuelke-Leech, B. A. (2018). A model for understanding the orders of magnitude of disruptive technologies. *Technological Forecasting and Social Change*, 129, 261–274. DOI: 10.1016/j.techfore.2017.09.013
 47. Uddin, S. (2022). Causes, effects, and solutions to global warming. *Academia Letters*, 2. DOI: N/A
 48. Ullah, F., Jiang, P., Elamer, A. A., & Owusu, A. (2022). Environmental performance and corporate innovation in China: The moderating impact of firm ownership. *Technological Forecasting and Social Change*, 184, 121990. DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121990
 49. United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2024). *E-Government Survey 2024: Accelerating digital transformation for sustainable development with the addendum on artificial intelligence*. New York. DOI: 10.18356/9789211067286
 50. Vafadar, P.; Mahmoudzadeh, M., & Ghavidel, S. (2025). The Role of Digital Transformation in Moderating Carbon

- Dioxide Emissions: Evidence from Upper-Middle-Income Countries. *Journal of Economic Policy Research*. DOI: 10.22034/jep.2025.144229.1296 [In Persian]
51. Venkataramanan, M., & Smitha. (2011). Causes and effects of global warming. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(3), 226–229. DOI: 10.17485/ijst/2011/v4i3.9
 52. Vinod Kumar, T. M. (2014). E-governance for smart cities. In *E-Governance for Smart Cities* (pp. 1–43). Springer Singapore. DOI: 10.1007/978-981-10-3099-4_1
 53. Wang, H., Li, Y., Lin, W., & Wei, W. (2023). How does digital technology promote carbon emission reduction? Empirical evidence based on e-commerce pilot city policy in China. *Journal of Environmental Management*, 325, 116524. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.116524
 54. Xu, B., Sun, R., Xi, C., & Wang, Z. (2025). Digital governance and the low-carbon transition: evidence from double machine learning. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12(1), 1–14. DOI: 10.1057/s41599-025-05144-9
 55. Yang, F., Luo, C., & Pan, L. (2024). Do digitalization and intellectual capital drive sustainable open innovation of natural resources sector? Evidence from China. *Resources Policy*, 88, 104345. DOI: 10.1016/j.resourpol.2023.104345
 56. Yi, J. (2025). Digital government and carbon emissions: evidence from China. *Frontiers in Environmental Science*, 13, 1470724. DOI: 10.3389/fenvs.2025.1470724
 57. Zhang, M., Hou, J., & Liu, Y. (2025). Achieving development goals via digital government strategies for a sustainable digital economy that integrate natural resource governance and energy security. *Resources Policy*, 101, 105330. DOI: 10.1016/j.resourpol.2025.105330
 58. ZHENG, J., WU, R., & QIN, W. (2023). Impact Mechanism and Conditions of the Public's Experience of Governmental Digital Governance on Their Perceived Better Life. *Journal of Northeastern University (Social Science)*, 25(6), 57. DOI: N/A
 59. Zhou, X., Zhou, D., Wang, Q., & Su, B. (2019). How information and communication technology drives carbon emissions: A sector-level analysis for China. *Energy Economics*, 81, 380–392. DOI: 10.1016/j.eneco.2019.04.014



Analysis of the Impact of Digital Governance on Global Warming in Selected Countries of the Kyoto Protocol

Negar Tahriri

Sara Ghobadi*

Hossein Sharifi Renani

PhD Student, Department of Economics, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Associate Professor, Department of Economics, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran

Associate Professor, Department of Economics, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran.

Extended Abstract

Received: 06 Nov 2025

Accepted: 16 Dec 2025

Keywords: Digital Governance, Global Warming, Kyoto Protocol, Panel Smooth Transition Regression

Introduction: Excessive use of fossil fuels as energy sources increases the concentration of greenhouse gases in the atmosphere, leading to a rise in the Earth's average surface temperature. Digital governance has been proposed as one of the approaches to counter the growing trend of global warming, emphasizing the need to digitalize public institutions and services in order to enhance government efficiency in achieving sustainable development and improving environmental conditions. However, if the expansion of digital government focuses solely on cost reduction without considering long-term green development, it may require the establishment of numerous terminals for delivering digital services, thereby increasing carbon emissions and intensifying global warming. This study examines the threshold effects of digital governance, financial development, and government effectiveness on global warming in a selected group of Kyoto Protocol countries during the period 2003–2023.

Materials and Methods: To achieve the research objective, a model is specified in which temperature change, as an indicator of global warming, is considered the dependent variable, and digital governance is used as the transition variable. Other independent variables include government effectiveness, financial development, foreign direct investment, trade, and gross domestic product. The Panel Smooth Transition Regression (PSTR) method is employed to estimate the model.

Results and Discussion: The results show that the digital governance index has a positive effect on global warming in the first regime and a negative effect in the second regime, indicating an inverted U-shaped relationship. So in the early stages of government digitalization, the need for fossil energy in the development, production, and installation of information and communication technology equipment leads to increased pollutant emissions and global warming. However, once the digital governance index reaches its threshold, indirect effects—such as reduced transportation for administrative procedures and lower energy use for in-person service delivery—contribute to a reduction in emissions. Government effectiveness and financial development had a negative effect on global warming in both regimes, with a stronger effect in the second regime.

Conclusion: The inverted U-shaped effect of digital governance on global warming indicates that during the initial stages of digitalization, global warming intensifies due to the use of various energy sources for developing digital technologies, whereas after the digital governance index reaches a threshold, global warming declines as the need for transportation in government administrative processes decreases. Accordingly, the development of digital governance should be pursued as a desirable goal while minimizing its adverse climatic impacts. This can be achieved through collaboration with the international academic community, attracting foreign investors, and utilizing clean energy during the early stages of digital governance development. Given the negative effect of government effectiveness in both regimes, it is recommended that citizens be involved in governmental decision-making processes. Moreover, regular performance evaluations of government, along with the review and reform of inefficient laws and regulations, can enhance government effectiveness and help reduce global warming. Considering the role of financial development in mitigating global warming, governments are advised to promote international cooperation in financial development, improve citizens' financial literacy, facilitate market entry for new firms, reduce excessive regulations, provide financial facilities for startups and innovative companies, and expand banking services to remote areas in order to foster financial development and reduce global warming.

Corresponding author: Sara Ghobadi

Address: Associate Professor, Department of Economics, Isf.C., Islamic Azad University, Isfahan, Iran **Tel:** +989131013646

Email: sghobadi@iaau.ac.ir

Citation: Tahriri N, Ghobadi S, Sharifi Renani H. Analysis of the Impact of Digital Governance on Global Warming in Selected Countries of the Kyoto Protocol. Journal of New Researches in Environmental Engineering. 2025; 3(11): 1-19.



© 2024, This article published in Journal of New Researches in Environmental Engineering (JNREE) as an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>). Non-commercial use, distribution and reproduction of this article is permitted in any medium, provided the original work is properly cited.