فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار) ـ سال بیست و دوم ـ شماره اول ـ بهار ۱۴۰۱ ـ صفحات ۱۴۶-۱۱۵

اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در ایران؛ رهیافت GMM سری زمانی و منطق فازی

مرتضی عزتی[۱]
زانا مظفری[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۲۷

چکیده

کیفیت نیروی انسانی، از جمله عوامل مؤثر بر تخریب محیط زیست می‌باشد. برپایه بررسی‌های انجام شده، آلودگی هوا تحت‌تأثیر مقادیر دوره قبل از خود است و برای بررسی آن، باید از مدل پویا استفاده شود. بر این اساس در مطالعه حاضر، با استفاده از روش GMM در سری‌های زمانی، اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوای ایران را طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۶۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سرمایه انسانی، متغیری پنهان در اقتصاد بوده و معمولاً پراکسی‌های جایگزین به‌جای آن استفاده می‌شود. در مقاله حاضر، ابتدا مانند اغلب مطالعات قبلی، مدل تحقیق با استفاده از پراکسی متوسط سال‌های تحصیل (به عنوان شاخص سرمایه انسانی) تخمین زده شد که نتایج، حاکی از عدم معنی‌داری آماری و ناسازگاری تئوریک ضرایب برآوردی می‌باشد. بر اساس مبانی نظری، استدلال می‌شود که شاخص سرمایه انسانی، علاوه‌بر جنبه آموزش، تحت‌تأثیر جنبه‌های دیگر مانند مهارت و بهداشت نیز قرار دارد. بنابراین در این مقاله، با استفاده از منطق فازی، شاخصی برای سرمایه انسانی در اقتصاد ایران ساخته شده که سه جنبه اصلی (آموزش، مهارت و سلامت) سرمایه انسانی را در نظر بگیرد. نتایج تخمین مدل آلودگی هوا با استفاده از شاخص برآوردی سرمایه انسانی، نشان داد که بهبود سطح سرمایه انسانی، اثر منفی بر آلودگی هوا داشته است. پس با افزایش سرمایه انسانی و بهبود کیفیت نیروی انسانی، می‌توان انتظار داشت که آلودگی هوا و تخریب محیط‌زیست کاهش یابد. همچنین شهرنشینی، صنعتی شدن، آزادی تجاری، رشد اقتصادی، آلودگی دوره پیش، اثر مثبت و معناداری بر آلودگی هوا دارند.

واژگان کلیدی: سرمایه انسانی، آلودگی هوا، GMM سری زمانی، منطق فازی
طبقه بندی JEL: E24، Q53، C22، P48

---

۱. دانشیار اقتصاد، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس، تهران mezzati@modares.ac.ir

۲. استادیار اقتصاد، عضو هیأت علمی گروه علوم اقتصادی دانشگاه کردستان، سنندج (نویسنده مسئول)
zana.mozaffari@yahoo.com

۱. مقدمه

یکی از اهداف رشد و توسعه پایدار هر کشور، حفاظت از محیط‌زیست است؛ ولی به طور معمول در کشورهای درحال‌توسعه، رشد اقتصادی با محیط‌زیست در تضاد است. هرگونه تغییر در ویژگی‌های فیزیکی یا شیمیایی آب، خاک، هوا و مواد غذایی که اثر نامطلوبی بر سلامت انسان و موجودات زنده و محیط‌زیست داشته باشد، آلودگی نامیده می‌شود. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از سوخت‌های فسیلی و سایر فعالیت‌های انسانی، علت اصلی افزایش دمای کره زمین است. امکان دارد که تغییرات آب‌وهوا محیط‌زیست و فعالیت‌های بشر را مختل کند. هوا، یک کالای عمومی جهانی است و بنابراین، کاهش گازهای گلخانه‌ای در هر کشور، منافع خارجی جهانی را در بردارد (عاقلی و همکاران، ۱۳۹۳).

امروزه به‌جرأت می‌توان تخریب محیط‌زیست را (که بیشتر به‌صورت انواع آلودگی‌ها ظهور می‌کند) مهم‌ترین تهدیدکننده امنیت انسان‌ها بخصوص در کشورهای درحال‌توسعه در نظر گرفت (Jefferson, 2006).

انسان اغلب در حال تغییر طبیعت است. بسیاری از کارشناسان، برخی از مشکلات محیط‌زیست ایران را متوجه مردم می‌دانند و اعتقاد دارند که بی‌مهری آنها به محیط‌زیست و تنوع زیستی، بسیار زیاد و غیرقابل توجیه است (واقفی و حقیقتیان، ۱۳۹۴).

بر پایه پیش‌بینی گروه بین‌المللی تحقیق در خصوص تغییرات آب‌وهوای کره زمین، اگر روند فعلی افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای که بیشتر آن دی‌اکسید کربن حاصل از مصرف انرژی است، ادامه یابد و هیچ تلاشی برای کاهش انتشار این گازها صورت نگیرد، دمای کره زمین تا سال ۲۱۰۰ بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت که این افزایش در تاریخ، بی‌سابقه است (فطرس و همکاران، ۱۳۹۱). این پدیده، باعث بالا آمدن سطح دریاها خواهد شد و نیز تغییرات شدیدی در الگوهای جوی به وجود خواهد آورد (فطرس و براتی، ۱۳۹۰). نهادهای بین‌المللی با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای و جدی شدن خطر تغییرات آب‌وهوایی، در صدد یافتن راهکارهایی برای کنترل و کاهش انتشار آن برآمده‌اند. در میان این تلاش‌ها در سطح بین‌المللی، می‌توان به پروتکل کیوتو اشاره نمود که در آن، تلاش شده است تا الزاماتی برای کشورها در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا حد معینی ایجاد شود (فطرس و همکاران، ۱۳۹۱).

سرمایه انسانی، نوعی از سرمایه در اقتصاد است که به صورت مهارت، دانش، خلاقیت و سلامت فرد تجلی می‌یابد (Beckerman, 1992). سرمایه و انواع آن، یکی از عوامل رشد اقتصادی، و سرمایه انسانی، ثروت مولد مجسم در کار، مهارت و دانش است. سرمایه انسانی، مجموعه‌ای از دانش، خلاقیت، نوآوری می‌باشد که افراد آن را جهت سرمایه‌گذاری در کار خود انتخاب می‌کنند (Weatherly, 2003).

توانایی و مهارت افراد، می‌تواند عملکرد مطلوب‌تر را در پی داشته باشد؛ لذا سرمایه‌گذاری در نیروی انسانی و هزینه‌های آموزش و مهارت آموزی، یکی از انواع سرمایه‌گذاری در اقتصاد محسوب می‌شود که اقتصاد در طول روند رشد اقتصادی، می‌تواند از منافع آن بهره‌مند گردد (Miciuła, 2016).

بهبود وضعیت سرمایه انسانی در یک جامعه، می‌تواند در فرایند تولید به بازدهی و بهره‌وری بیشتری منجر شده و بهره‌وری سرمایه‌های فیزیکی را افزایش دهد (Lim *et al.*, 2018). ارتباط سرمایه انسانی و رشد اقتصادی در سالیان اخیر، مورد توجه پژوهشگران مختلف بوده است؛ و چنانچه از بررسی مطالعات مختلف، می‌توان استنباط نمود که عوامل مختلفی در شکل‌گیری و گسترش سرمایه انسانی مؤثر هستند (Barro, 2001).

در یک اقتصاد مبتنی بر دانش، نیروی کار دانش‌آموخته و متخصص، بخش بیشتری از نقش نهاده‌ها را در فرایند تولید و رشد اقتصادی، برعهده دارد؛ چرا که سرمایه انسانی، می‌تواند به بهبود کیفیت کالا و خدمات کمک کرده و از سوی دیگر، نقش برنامه‌ریز و تسهیل‌کننده خود را در برنامه‌های توسعه و تولید داشته باشد (سلاطین و غفاری صومعه، ۱۳۹۵).

یکی از راه‌های اجتناب از آسیب رساندن به محیط‌زیست و جلوگیری از تخریب آن، تغییر رفتار انسان‌ها به سمت و سوی ابعاد طبیعت گرایانه است (Quimbita & Pavel, 2005). بسیاری از گروه‌های دوست‌دار محیط‌زیست، تلاش فراوانی را برای بالا بردن دانش و آگاهی عمومی انجام داده‌اند؛ اما این تغییر رفتار به خودی خود، صورت نخواهد پذیرفت و نیاز به پیش‌شرط‌هایی دارد که دانش، عموماً پیش‌شرط لازم برای رفتار افراد به حساب می‌آید (Budak, 2005).

پرسش‌های بنیادی و مهمی در رابطه با سرمایه انسانی و نحوه محاسبه میزان آن وجود دارد. مطابق با ادبیات اقتصادی و تحقیقات پیشین، آموزش، بهداشت، مهارت و سایر سرمایه‌گذاری‌هایی که بهره‌وری را افزایش می‌دهند، ازجمله مؤلفه‌های ویژه در تشکیل سرمایه انسانی می‌باشد (صالحی و جمالی، ۱۳۹۳). در واقع، مؤلفه‌های اصلی تشکیل سرمایه انسانی شامل آموزش، مهارت و بهداشت می‌باشد که هر یک با افزایش کیفیت نیروی کار، موجب انباشت سرمایه انسانی می‌شوند (امینی و حجازی آزاد، ۱۳۸۶).

در حال حاضر، با پدیده آلودگی و تخریب محیط‌زیست مواجه هستیم که اثرات بدی را برای فعالیت‌های مختلف جامعه به همراه دارد. ازآنجاکه برای صدق کردن فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس در کشورهای درحال‌توسعه، نیازمند زیرساخت‌های نهادی و همراهی سرمایه انسانی جامعه می‌باشد، لذا در اینجا، به بررسی اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در ایران طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۶۰ پرداخته شده است.

روش‌های سری زمانی مانند ARDL و VAR، توانایی تخمین مدل‌های پویا را ندارند و از آنجا که آلودگی، تحت تأثیر مقادیر گذشته خود می‌باشد، بنابراین، نیاز به یک مدل پویا است و می‌باید با روش اقتصاد سنجی پویا تخمین زده شود؛ که روش GMM در سری‌های زمانی، این امکان را فراهم ساخته است.

در این مطالعه، علاوه بر استفاده از پراکسی متوسط سال‌های تحصیل به عنوان سرمایه انسانی، تلاش شده است تا با توجه به ادبیات اقتصادی و بهره‌گیری از روش منطق فازی، شاخصی کارآمد برای سرمایه انسانی در اقتصاد ایران محاسبه و برآورد گردد. بعد از محاسبه دو شاخص ذکر شده برای سرمایه انسانی، اثر این دو شاخص سرمایه انسانی در مدل‌های مجزا، بر آلودگی هوا در ایران، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته‌اند.

سازمان‌دهی مقاله این‌گونه است: پس از مقدمه و در بخش دوم مقاله، ادبیات مرور شده است، بخش سوم، در برگیرنده مدل و روش تحقیق می‌باشد. در بخش چهارم، یافته‌ها ارائه شده است. در بخش پنجم، جمع‌بندی کلی، عرضه و نیز توصیه‌های سیاستی ارائه می‌شود.

۲. ادبیات موضوع

۲-۱. مبانی نظری

۲-۱-۱. عوامل شکل دهنده سرمایه انسانی

در یک فرایند برنامه‌ریزی شده، می‌توان وضعیت نیروی کار مازاد در کشورها را از نظر مهارت، دانش، تخصص و سلامت بهبود بخشیده و به سرمایه انسانی قابل اتکا تبدیل نمود. در ادبیات اقتصادی، از این فرایند تبدیل نیروی کار به سرمایه انسانی، به‌عنوان «تشکیل سرمایه انسانی» نام برده می‌شود (Tchanturia *et al.*, 2015). دانش و آموزش، یکی از محوری‌ترین سرمایه‌گذاری‌ها در جهت بهبود کیفیت نیروی انسانی است (Abowd *et al.*, 2003). سرمایه انسانی از طریق سرمایه‌گذاری‌های آموزشی و مهارتی، می‌تواند انباشت شود و در تشکیل سرمایه انسانی و افزایش این نهاده تولید، نقش مؤثری داشته باشد (آقایی و همکاران، ۱۳۹۲). تخصص و مهارت از جمله آیتم‌های مؤثر در تشکیل سرمایه انسانی می‌باشند.

امروزه در بسیاری از کشورهای جهان، به آموزش‌های فنی و حرفه‌ای، توجه ویژه‌ای می‌شود؛ به طوری که بسیاری از کشورها، این نوع آموزش‌ها را در تحصیلات مقدماتی و آکادمیک خود جای داده‌اند و این امر به ایجاد رشته‌های درسی مختلف نیز منجر شده است.

آموزش‌های فنی و حرفه‌ای، یکی از فرایندهای مؤثر در تبلور مهارت و تخصص نیروی کار می‌باشد. معمولاً در کشورهای توسعه یافته، آموزش‌های مهارتی در راستای نیازهای جامعه برای تربیت نیروی

کار ماهر در زمینه‌های مختلف انجام می‌شود (Barro, 2001). آموزش‌های فنی و حرفه‌ای، نقش ویژه‌ای در افزایش مهارت و کسب تخصص در زمینه‌های مختلف ایفا می‌نماید و اگر سرمایه‌گذاری‌های دولت در این بخش به درستی انجام شده و برنامه‌ریزی درست و مدون برای دوره‌های مختلف پی‌ریزی شود، آنگاه می‌توان اظهار نمود که آموزش‌های فنی و حرفه‌ای در فرایند تشکیل سرمایه انسانی و افزایش کیفیت نیروی کار، مؤثر واقع می‌شود (مقصودی، ۱۳۹۳).

سلامت، مهارت و دانش، ازجمله مهمترین اجزای تشکیل دهنده سرمایه انسانی در اقتصاد می-باشند. بهداشت و درمان در اقتصاد نیز پدیده‌ای است که می‌تواند زندگی نیروی کار را کیفیت بخشیده، امید به زندگی را ارتقا دهد و نتیجه آن، سلامتی برای جامعه است که می‌تواند منشأ ثروت باشد. بررسی مطالعات و پژوهش‌های مختلف، نشان دهنده وجود ارتباط معنی‌داری بین سلامت نیروی کار و رشد اقتصادی می‌باشد (سرلک، ۱۳۹۴).

سلامت و مخارج بهداشتی، می‌تواند سرمایه‌گذاری‌های آموزشی یک کشور را تحت تأثیر قرار داده و به افزایش توان یادگیری افراد منجر شود (Hartwig, 2010). سلامت می‌تواند عاملی مؤثر در جهت افزایش پس‌انداز و سرمایه‌گذاری‌های خرد جامعه باشد. از طرف دیگر، افزایش سطح سلامت و بهداشت جامعه، می‌تواند عرضه نیروی کار را نیز افزایش داده و اثرات مضاعف در فرایند تولید داشته باشد (Howitt, 2005).

در اغلب موارد، حجم سرمایه انسانی طی سال‌های مختلف افزایش می‌یابد؛ زیرا در حالت عادی، وضعیت آموزشی و بهداشتی هر نسل، بهتر از نسل قبلی است (Kwon, 2009). انتظار بر این است که تشکیل سرمایه انسانی در یک کشور، با گذشت زمان بیشتر شود. این همان رشد تراکمی و انباشت سرمایه انسانی می‌باشد (Higon & Sena, 2006).

در کشورهایی که نرخ رشد جمعیت از سرعت بالایی برخوردار است و با مازاد نیروی کار مواجه هستند، موضوع سرمایه انسانی اهمیت ویژه‌ای دارد (Oxley *et al.*, 2008). نیروی کار مازادی که در چنین کشورهایی وجود دارد، می‌تواند به‌آسانی، با هزینه‌های پایین تبدیل به نیروی کار متخصص و ماهر شده و به بهبود وضعیت سرمایه انسانی منجر شود. همچنین قابل ذکر است که در فرایند تولید کالا و خدمات، سرمایه انسانی، این پتانسیل را دارد که عملکرد انعطاف‌پذیر داشته باشد (Mubarik *et al.*, 2018).

۲-۱-۲. اثر سرمایه انسانی بر محیط زیست

بهبود در کیفیت سرمایه انسانی، عامل کار را ماهرتر، کارآزموده‌تر و تواناتر می‌سازد و ازاین‌رو، سبب پر شدن شکاف تکنولوژی، کاهش نقش مزیت نسبی طبیعی، افزایش مزیت نسبی اکتسابی و عامل

مؤثر در رشد اقتصادی و بهبود کیفیت محیط‌زیست می‌گردد. نیروی کار دانش‌آموخته (سرمایه انسانی) می‌تواند با توجه به ملاحظات محیط‌زیست، به بهبود کیفیت کالا کمک کند. آن دسته از نیروی کاری که از سطح دانش و آموزش بیشتری برخوردارند، قادرند در چرخه تولید، پویایی و تحول تکنولوژیکی ایجاد کرده، سبب افزایش ظرفیت تولید با رعایت مسائل محیط‌زیستی گردند (محمدی و سخی، ۱۳۹۲).

گروسمن (Grossman, 2000) بر اساس تئوری ریبژینسکی، تشریح می‌کند که تجمع سرمایه انسانی، سبب رشد صنایع پاک و درنتیجه، کاهش آلودگی می‌گردد؛ درحالی‌که رشد سرمایه‌های فیزیکی، صنایع آلاینده را افزایش می‌دهد و به افزایش آلودگی دامن می‌زند. کشورها در مراحل اولیه رشد اقتصادی از طریق تجمع سرمایه فیزیکی رشد می‌کنند و در مراحل بعدی توسعه، به‌وسیله نیروی انسانی کارآمد به رشد خود ادامه می‌دهند. بنابراین، با تجمع سرمایه در مراحل اولیه رشد اقتصادی، آلودگی افزایش می‌یابد و با رشد درآمد سرانه و حرکت اقتصاد از بخش صنعتی به خدماتی و استفاده از نیروی انسانی به‌جای سرمایه، آلودگی کاهش می‌یابد (سلاطین و غفاری صومعه، ۱۳۹۵).

تجمع سرمایهٔ انسانی، باعث رشد صنایع پاک و درنتیجه، کاهش آلودگی شده است و برعکس، رشد سرمایه‌های فیزیکی، صنایع آلاینده را افزایش داده، به افزایش آلودگی دامن می‌زند، و بر کیفیت زیست‌محیطی اثر می‌گذارد. کشورها در مراحل اولیهٔ توسعه از طریق تجمع سرمایهٔ فیزیکی، رشد می‌کنند و در مراحل بعدی توسعه، به‌وسیلهٔ اکتساب نیروی انسانی کارآمد، به رشد خود ادامه می‌دهند. بنابراین، با تجمع سرمایه در مراحل اولیهٔ توسعهٔ اقتصادی، آلودگی نیز افزایش می‌یابد و با رشد درآمد سرانه و حرکت اقتصاد از بخش صنعتی به خدماتی و استفاده از نیروی انسانی به‌جای سرمایه، آلودگی نیز کاهش می‌یابد. ازاین‌رو، براساس این نظریه، کشورها با سرمایهٔ فیزیکی فراوان، صرف‌نظر از تفاوت‌های موجود در سیاست‌های زیست‌محیطی، تمایل به صادر کردن کالاهای آلاینده دارند و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی نیز با تغییر ترکیب تولید به سمت کاربری و یا سرمایه‌بری کیفیت محیط‌زیست، اثر می‌گذارد (محمدی و سخی، ۱۳۹۲).

کاهش شدت آلودگی، تاحدودی سنگینی بار سرمایه انسانی را در جبران بازده نزولی سرمایه فیزیکی و آلودگی کم می‌نماید. بنابراین، تضمینی برای حرکت در مسیر رشد پایدار است. افزایش نرخ رشد انباشت سرمایه انسانی، باعث افزایش نرخ رشد اقتصادی پایدار می‌شود. با در نظر گرفتن اثر آلودگی زیست‌محیطی، تولید نهایی اجتماعی سرمایه فیزیکی، سریع‌تر از قبل به مرحله نزولی می‌رسد و تولید را کاهش می‌دهد. ازاین‌رو، لازمه رشد اقتصادی بلندمدت، تداوم رشد سرمایه انسانی می‌باشد. این نتیجه، بیانگر ضرورت اجرای سیاست‌های گسترش آموزش‌های حرفه‌ای و ارتقاء توانایی‌های تخصصی نیروی انسانی را توسط دولت‌ها نشان می‌دهد (Deng & Huang, 2009).

به‌طورکلی، بر اساس فرضیهٔ پناهگاه آلودگی، صنایع با شدت آلایندگی بالا، در حال انتقال از اقتصادهای توسعه‌یافته به‌سوی جهان درحال‌توسعه هستند. به‌عبارت‌دیگر، کشورهای درحال‌توسعه، با توجه به دستمزدهای پایین و نیز با توجه به برخورداری از قوانین زیست‌محیطی ملایم درخصوص تولیدات مرتبط با صنایع آلاینده، نسبت به کشورهای توسعه‌یافته، از جذابیت بالایی برای جلب این صنایع برخوردارند که این امر، به مزیت نسبی تولیدات آلاینده در کشورهای درحال‌توسعه منتهی می‌شود.

همچنین انتقال این صنایع به‌سوی کشورهای درحال‌توسعه، باتوجه به اینکه کشورهای درحال‌توسعه، نیازمند تأمین مالی فرایند توسعهٔ صنعتی خود هستند، مورد استقبال قرار می‌گیرد. در چنین فرایندی، با انتقال صنایع آلاینده به‌سوی کشورهای درحال‌توسعه، این کشورها، به صادرکنندگان صنایع آلاینده و در مقابل، کشورهای توسعه‌یافته، به واردکنندگان محصولات این صنایع تبدیل می‌شوند. اما با توجه به پیش‌بینی‌های مذکور در خصوص انتقال صنایع آلاینده به کشورهایی با سیاست‌های زیست‌محیطی ملایم، لازم به ذکر است که در پاره‌ای از موارد، مطالعات تجربی، فرضیهٔ پناهگاه آلایندگی را تأیید نمی‌کنند (برقی اسکویی، ۱۳۸۷).

یکی از پیش فرض‌های اساسی در مطالعات محیط‌زیست، این است که بسیاری از مشکلات زیست-محیطی را می‌توان با افزایش آگاهی عمومی در مورد محیط زیست برطرف کرد (Salehi, 2010). به عبارت دیگر، اعتقاد بر این است که آگاهی زیست محیطی، کلید حل بسیاری از مشکلات زیست‌محیطی است. به اعتبار همین آگاهی‌های مناسب که تأثیرات ملموسی بر رفتارها خواهد داشت، فعالیت جنبش-های اجتماعی به صورت عام و سازمان های زیست‌محیطی مردم نهاد به صورت خاص، بر این اساس بنا شده‌اند که دانش و آگاهی عمومی، موجب حمایت محیط از محیط‌زیست می‌شود. تحصیل و فراگیری دانش، نخستین گام در راه نیل به پایداری است و اساساً شرط بقای آینده بشریت، آگاهی زیست‌محیطی، توانایی فهم محیط‌زیست و زندگی کردن بر پایه آنها است (Barr *et al.*, 2003).

۲-۲. شواهد تجربی

در ادامه برخی از مطالعات تجربی انجام شده در خارج و داخل کشور مرور می‌شود:

۲-۲-۱. مطالعات خارجی

علم و همکاران (Alam *et al.*, 2007) با استفاده از اطلاعات سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۱ کشور پاکستان، به بررسی رابطه رشد اقتصادی با شدت انرژی، انتشار CO_2، رشد جمعیت و شهرنشینی پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که یک درصد افزایش در GDP، به ۰/۸۴ درصد افزایش در انتشار دی‌اکسید کربن و یک درصد افزایش در نرخ رشد شدت انرژی، به افزایش ۰/۲۴ درصدی نرخ انتشار CO_2 منجر

می‌شود. علاوه بر این، افزایش شهرنشینی و رشد جمعیت، به‌طور معناداری باعث افزایش انتشار آلودگی می‌شود و این، در حالی است که این دو عامل در بلندمدت، رشد اقتصادی را کاهش می‌دهد.

ماخرجی و همکار (Mukherjee & Chakraborty, 2009)، با استفاده از یک مطالعهٔ بین کشوری برای ۱۶۸ کشور جهان، به بررسی رابطهٔ بین محیط‌زیست، توسعه انسانی و رشد اقتصادی پرداختند. نتایج رگرسیون، یک رابطهٔ معنادار غیرخطی بین عملکرد محیط‌زیست و سطوح درآمدی کشورها را تأیید می‌نماید. این رابطه، بیان می‌دارد که عملکرد محیط‌زیست کشورها، در سطوح اولیهٔ درآمدی، همگام با درآمد، افزایش می‌یابد اما در سطوح درآمدی بالاتر، با کاهش مواجه می‌شود. به عبارتی، با توجه به یافته‌های آنها، رابطهٔ سطوح درآمدی کشورها و شاخص عملکرد محیط‌زیست، روی نمودار، یک منحنی U شکل معکوس می‌باشد.

نصیر و رحمان (Nasir & Rehman, 2011) در مطالعه‌ای، با استفاده از روش VAR، رابطه بین انتشار دی‌اکسید کربن، درآمد، مصرف انرژی و تجارت خارجی برای دوره زمانی ۲۰۰۸-۱۹۷۲ در کشور پاکستان را بررسی نمودند. نتیجه مطالعه آنها، حاکی از وجود رابطه بلندمدت بین انتشار دی‌اکسید کربن و درآمد بود و اثر متغیرهای مصرف انرژی و تجارت خارجی بر انتشار دی‌اکسید کربن، به‌طور مثبت برآورد شده است.

لن و همکار (Lan & Munro, 2013)، در مطالعه‌ای تحت عنوان «ارتباط محیط‌زیست و سرمایه انسانی»، با استفاده از مجموعه داده‌های شرکت‌های صنعتی چین، به بررسی اثرات خارجی و داخلی سرمایه انسانی در عملکرد محیط‌زیست این کشور پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که شرکت‌ها مجبور به ایجاد قوانینی در جهت حفاظت بیشتر محیط‌زیست هستند تا کیفیت محیط‌زیست را با ارتقاء آموزش سرمایه انسانی بهبود بخشند. در این مقاله، از انتشار CO_2، به‌عنوان شاخص کیفیت محیط‌زیست و از نیروی کار با تحصیلات متفاوت، استفاده شده است.

اکپن و همکار (Akpan & Abang, 2014)، ارتباط بین کیفیت محیط‌زیست و رشد اقتصادی را در ۴۷ کشور با استفاده از داده‌های سالانه ۲۰۰۸-۱۹۷۰ و روش GMM مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها، نشان داد که رشد اقتصادی، قیمت انرژی، نسبت صادرات به تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی بر انتشار دی‌اکسید کربن، اثر مثبت و معنادار، اما نرخ رشد جمعیت و نسبت واردات به تولید ناخالص داخلی، اثر منفی و معناداری بر آلودگی دارد.

بگم و همکاران (Begum *et al.*, 2015) در مقاله‌ای، به بررسی اثرات پویا از رشد تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی و رشد جمعیت بر تولید انتشار CO_2 برای کشور مالزی پرداختند. نتایج مطالعه آنها، نشان داد که فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس، مورد تأیید قرار نگرفته است. یکی از نتایج مهم این مطالعه، اثرات مخرب رشد اقتصادی بر انتشار دی‌اکسید کربن در بلندمدت بوده است.

وو (Wu, 2017) در مقاله‌ای، با استفاده از مدل OLG، به بررسی تأثیر سرمایه انسانی و امید به زندگی بر محیط‌زیست کشورهای در حال توسعه پرداخته است. نتایج مطالعه وی، نشان داد که امید به زندگی و سرمایه انسانی، تأثیر منفی بر تخریب محیط‌زیست دارند.

لیم و همکاران (Lim *et al.*, 2018) در مطالعه‌ای، متغیرهای آموزش، بهداشت، مهارت و یادگیری را برای محاسبه سرمایه انسانی در ۱۹۸ کشور جهان در نظر گرفتند. آنها در طول سال‌های ۲۰۱۶-۱۹۹۰، وضعیت آموزشی را مورد ارزیابی قرار دادند که به صورت میانگین، یک رشد ۲ درصدی تجربه شده، و داده‌های این مطالعه از سرشماری‌ها، آمارگیری‌های رسمی و به‌صورت میدانی توسط یک گروه تحقیقاتی در کشورهای مختلف جمع‌آوری گردیده، و هر یک از آیتم‌های مؤثر بر شکل‌گیری سرمایه انسانی توسط مقوله‌هایی متفاوت، مورد ارزیابی قرار گرفته است.

در این پژوهش در سال ۲۰۱۶ با استفاده از روش داگوم و متغیر پنهان، به این نتیجه رسیدند که کشور فنلاند، بالاترین سطح، و نیجریه، کمترین انباشت سرمایه انسانی را دارد. در این مطالعه، شاخص سرمایه انسانی، به صورت مقطعی محاسبه شده ولی سری زمانی سرمایه انسانی، برآورد نشده است.

لی و همکار (Li & Zhou, 2019) در مطالعه‌ای، با استفاده از روش سنجی فضایی مقطعی در سال ۲۰۱۷ تأثیر جمعیت بر انتشار کربن دی‌اکسید را در استان‌های چین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که ساختار سنی جمعیت در رده‌های سنی جوان، تأثیر مثبت و ساختار پیر جمعیت، تأثیر منفی بر انتشار آلودگی هوا در استان‌های چین دارد.

لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2021) در مقاله‌ای، با استفاده از روش 2SLS، به بررسی اثر آلودگی هوا بر مهاجرت سرمایه انسانی در ۳۵ شهر توسعه‌یافته چین از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۶، پرداختند. نتایج نشان داد که آلودگی هوا، تأثیر منفی و معنی‌دار بر تشکیل سرمایه انسانی دارد و شهرهایی که آلودگی شدید هوا دارند، به‌طور قابل‌توجهی، دانشجویان کمتری دارند.

۲-۲-۲. مطالعات داخلی

خلیلی عراقی و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله‌ای تحت عنوان «تحلیل تجزیه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در ایران»، با استفاده از روش‌های تحلیل تجزیه شاخص (IDA) و شاخص دیوژیا، تغییرات انتشار دی‌اکسید کربن در سطح کلان اقتصاد و در سطح بخش‌های اقتصادی، به عوامل اثرگذار برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۴۶ در قالب هشت دوره ۵ ساله و دو دوره ۳ ساله برای ۱۳۸۳-۱۳۸۷ مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج، نشان داد که در سطح کلان اقتصاد، تغییرات سرانه تولید ناخالص داخلی، جمعیت و شدت انرژی، اثر مثبت بر انتشار دی‌اکسید کربن داشته‌اند و تغییرات شدت کربن سوخت‌های فسیلی در بیشتر دوره‌ها، نقش مؤثری در کاهش انتشار دی‌اکسید کربن داشته است. همچنین شدت کربن سوخت‌های فسیلی و شدت انرژی مصرفی در بخش‌های خدمات و

کشاورزی، نقش مثبت در انتشار دی‌اکسید کربن داشته‌اند و اثر سهم بخش کشاورزی از کل تولید ناخالص داخلی بر انتشار دی‌اکسید کربن در این بخش، برخلاف سایر بخش‌های اقتصادی، منفی بوده است.

فلاحی و حکمتی فرید (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای، با استفاده از روش پانل دیتا طی سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۸۲، به بررسی عوامل مؤثر بر انتشار گاز دی‌اکسید کربن در استان‌های ایران پرداخته‌اند. نتایج تحقیق، نشان داد که شدت انرژی، درآمد سرانه واقعی، میزان جمعیت و نرخ شهرنشینی، به‌عنوان مهم‌ترین عوامل اقتصادی و اجتماعی اثرگذار بر آلودگی محیط‌زیست می‌باشند؛ به‌طوری‌که تأثیر همه عوامل ذکر شده بر انتشار آلودگی، مثبت ارزیابی شده است.

شهبازی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای بر روی دبیران مقطع راهنمایی، از طریق نمونه‌گیری و ارائه پرسش‌نامه و جمع‌آوری نظرات آنها در مورد ارتباط نقش رسانه‌های جمعی و آموزش مسائل محیط‌زیست، دریافتند که اثر آموزش رسانه‌ای بر آگاه‌سازی وقایع محیط‌زیستی و عملکرد و رفتار دانش‌آموزان به حفظ محیط‌زیست، مهم می‌باشد. یافته‌های این مطالعه، با استفاده از آزمون آلفای کرونباخ، مورد تأیید قرار گرفته است. تأثیر آموزش رسانه‌ای بر آگاه‌سازی وقایع محیط‌زیستی و عملکرد و رفتار دانش‌آموزان به حفظ محیط‌زیست، بیش از ۷۰ درصد می‌باشد.

سلاطین و غفاری صومعه (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای تحت عنوان «تأثیر سرمایه انسانی بر کیفیت محیط‌زیست»، با استفاده از روش پانل دیتا و GMM، میزان تأثیرگذاری سرمایه انسانی بر انتشار CO_2 به‌عنوان شاخص نشان‌دهنده کیفیت محیط‌زیست در گروه کشورهای منتخب با درآمد متوسط را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج حاصل از برآورد مدل به روش اثرات ثابت و گشتاور تعمیم‌یافته در گروه کشورهای منتخب در دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۸، نشان می‌دهد که سرمایه انسانی، تأثیر منفی و معناداری بر انتشار CO_2 به‌عنوان شاخص نشان‌دهنده کیفیت محیط‌زیست دارد.

اکبر موسوی و حقیقت (۱۳۹۵)، در مطالعه‌ای با عنوان «برآورد سری زمانی سرمایه انسانی بر مبنای متوسط سال‌های تحصیل (مطالعه موردی ایران، سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۵۷)»، با جمع‌آوری داده‌های آماری مربوط به وضعیت تحصیلی جمعیت شش سال به بالا، شاخص متوسط سال‌های تحصیل را برای سه گروه از جمعیت، به تفکیک جنسیت محاسبه نموده‌اند. نتایج، حاکی از آن است که متوسط سال‌های تحصیل در هر سه گروه، رشد قابل‌توجهی داشته و نتایج این محاسبه و برآورد به صورت سری زمانی در سه گروه متفاوت، در پایان پژوهش ارائه شده است.

سعیدپور و همکاران (۱۳۹۶)، در تحقیقی با استفاده از ابزار پرسشنامه و روش‌های آماری همبستگی و رگرسیون چند متغیره، به بررسی نقش مدیریت دانش در توسعه پایدار محیط زیست پرداخته‌اند. یافته‌های تحقیق، نشان داد که اعمال عناصر و مؤلفه‌های مدیریت دانش، به بهبود عملکرد

سازمان می‌انجامد. درخصوص ابعاد مدیریت دانش، نتایج نشان داد که توسعه دانش، به‌کارگیری دانش و تحصیل دانش در حد متوسط، رو به کم و نگهداری دانش در حد متوسط و اشتراک دانش در حد متوسط، رو به زیاد در سازمان حفاظت محیط‌زیست وجود دارد و به‌طورکلی، مدیریت دانش در سازمان حفاظت محیط‌زیست در حد غیرقابل‌قبول است.

مبارک و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی، ابتدا شاخص ترکیبی سرمایه انسانی را از طریق متوسط سال‌های تحصیل و مخارج بهداشتی محاسبه نموده‌اند و سپس، با استفاده از روش PSTR طی دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۵، به بررسی تأثیر کیفیت نهادی و سرمایه انسانی بر رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه پرداختند. نتایج حاصل از برآورد مدل، با رد فرضیه خطی بودن، یک مدل دو رژیمی با حدهای آستانه‌ای ۰/۱۶۲۷ و ۰/۶۲۵ را برای شاخص متغیرهای نهادی در کشورهای تحت بررسی پیشنهاد می‌نماید. نتایج مطالعه، حاکی از تأثیرگذاری مثبت شاخص حاکمیت قانون بر رشد اقتصادی، البته با شدت بیشتر در رژیم دوم است. نتایج، همچنین نشان می‌دهند که در هر دو رژیم، متغیرهای شاخص‌های کیفیت نهادی، آزادی اقتصادی، سرمایه انسانی و سایر متغیرهای کنترلی، تأثیر مثبت بر رشد اقتصادی دارند. و شدت تأثیر گذاری متغیرها با تغییر رژیم در هر دو گروه کشورهای مورد مطالعه، با بهبود کیفیت نهادی، بیشتر می‌شود.

مظفری و متفکر آزاد (۱۳۹۸) در مقاله‌ای، با استفاده از روش GMM، تأثیر سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی بر انتشار آلودگی هوا در استان‌های ایران را طی دوره زمانی ۱۳۹۴-۱۳۷۹، مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی، تأثیر منفی و معناداری بر انتشار آلودگی هوا در استان‌های ایران دارند. سایر نتایج تحقیق نشان داد که رشد اقتصادی، صنعتی شدن، شدت انرژی، شهرنشینی، آلودگی دوره قبل، تأثیر مثبت و معناداری بر آلودگی هوای استان‌های ایران دارند. اما متغیر مجذور درآمد سرانه، تأثیر معناداری بر آلودگی هوا ندارد.

قربانی (۱۳۹۹)، در مطالعه خود برای محاسبه شاخص سرمایه انسانی در ایران، از دو زیرشاخص ظرفیت تحصیلی و بهره‌مندی از نیروی‌کار استفاده کرده، و داده‌ها از نتایج سرشماری سال ۱۳۹۵ برای ۳۱ استان اخذ شده است و روش محاسبه، نمره استاندارد و میانگین وزنی شاخص‌ها می‌باشد. یافته‌ها، نشان‌دهنده آن است که شاخص سرمایه انسانی در ایران، ۵۱/۱ درصد است. بالاترین میزان شاخص، به استان تهران با ۵۷ درصد و کمترین آن، به استان سیستان و بلوچستان با ۴۳/۴ تعلق دارد. استان تهران با ۷۰/۹ درصد ظرفیت تحصیلی و ۴۳/۲ درصد بهره‌مندی از نیروی‌کار، رتبه اول سرمایه انسانی در کشور را دارد. استان سیستان و بلوچستان با ۵۰/۷ درصد، کمترین میزان ظرفیت تحصیلی و استان لرستان با ۳۲/۲ درصد، کمترین میزان بهرمندی از نیروی کار را دارند.

۳-۲-۲. نوآوری مقاله

با عنایت به پشتوانه نظری و تجربی مطرح شده، می‌توان اظهار داشت که بررسی‌های بسیاری در زمینه عوامل مؤثر بر آلودگی هوا در ایران و کشورهای دیگر، انجام، و در این بررسی‌ها، بیشتر به عواملی همچون درآمد سرانه، صنعتی شدن، آزادی تجاری و شهرنشینی توجه شده است و به نتایج مختلفی رسیده‌اند که گاهی مشابه و در برخی موارد، نتایج با یکدیگر سازگار نبوده‌اند. بدین‌صورت که برخی، فرضیه کوزنتس را تأیید و برخی دیگر، رد کرده‌اند.

با توجه به ادبیات تحقیق، به‌طور خلاصه می‌توان گفت که یکی از عواملی مؤثر در برقراری و یا عدم برقراری فرضیه زیست محیطی کوزنتس، سرمایه انسانی می‌باشد اما بر پایه بررسی‌های انجام شده، تاکنون در ایران، اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا به صورت سری زمانی، مورد بررسی قرار نگرفته، و همچنین در مطالعات تجربی پیشین، شاخص کارآمدی که بتواند جنبه‌های مهم (آموزش، مهارت و سلامت) سرمایه انسانی را در نظر بگیرد، محاسبه نشده است.

بنابراین مقاله حاضر، دارای حداقل سه نوآوری علمی مشخص می‌باشد؛ ۱- بررسی اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در ایران؛ ۲- برآورد شاخص سرمایه انسانی به‌وسیله متغیرهای همراه‌کننده و بهره‌گیری از روش منطق فازی؛ ۳- استفاده از روش GMM سری زمانی برای بررسی فرضیه زیست-محیطی کوزنتس.

۳. روش‌شناسی تحقیق

با توجه به مبانی نظری و پیشینه مطالعاتی، مدل اقتصادسنجی این پژوهش، به‌صورت زیر تصریح گردیده است:

$$LCO_{2t} = \beta_0 + \beta_1 LCO_{2t-1} + \beta_2 LGDP_t + \beta_3 LTR_t + \beta_4 LHC_t + \beta_5 LGDP^2{}_t + \beta_6 LURB_t + \beta_7 LIND_t + \varepsilon_t \quad (۱)$$

در معادله (۱)، L در ابتدای متغیرها به معنی لگاریتم طبیعی می‌باشد و در این مدل، اندیس t نشان‌دهنده دوره زمانی می‌باشد. نتایج آزمون MDW که توسط مک‌کینون و همکاران (Mackinnon *et al.*, 1983)، برای انتخاب میان مدل رگرسیون خطی و مدل رگرسیون لگاریتمی ارائه شده است، نشان می‌دهد که فرض صفر مبنی بر تأکید مدل خطی، رد می‌شود ولذا مدل لگاریتمی برای توضیح ارتباط میان متغیرها، نتایج بهتری را به دست می‌دهد (منجذب، ۱۳۸۰).

از طرف دیگر، هنگام استفاده از مدل لگاریتمی، ضرایب برآوردی، بیانگر کشش بوده و احتمال مواجه شدن با ناهمسانی واریانس را به‌شدت کاهش می‌دهد (ورهرامی و عبدالهی، ۱۳۹۴).

شرح متغیرها به‌صورت زیر است[۱]:

CO_2: مقدار انتشار آلودگی هوا (دی اکسید کربن سرانه)

GDP: درآمد سرانه به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳

TR: آزادی تجاری که در این تحقیق، برابر با مجموع ارزش صادرات و واردات به تولید ناخالص داخلی است که به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$OPEN_t = (\frac{EX+IM}{GDP}) \quad (۲)$$

که در آن، EX: ارزش صادرات، IM: ارزش واردات، GDP: تولید ناخالص داخلی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ می‌باشد.

URB: نرخ شهرنشینی (جمعیت شهری بر جمعیت کل)

IND: سطح صنعتی شدن (سهم ارزش‌افزوده بخش صنعت از تولید ناخالص داخلی)

HC: سرمایه انسانی

مدل در دو حالت متفاوت برآورد می‌شود. ابتدا مدل با استفاده از پراکسی متوسط سال‌های تحصیل تخمین زده می‌شود. سپس با شاخص سرمایه انسانی محاسبه شده به‌وسیله منطق فازی، یک بار دیگر مورد ارزیابی، و نتایج با مدل قبلی، مورد مقایسه قرار گرفته، و پراکسی متوسط سال‌های تحصیل به تبعیت از مطالعه اکبر موسوی و حقیقت (۱۳۹۵) محاسبه گردیده است[۲].

به دلیل محدودیت‌های آماری، با وجود توجه در ادبیات نظری، برآوردها و استفاده از پراکسی‌های مختلف سرمایه انسانی، با مشکلات زیادی مواجهه بوده است. لذا محاسبه سرمایه انسانی با توجه به همه ابعاد و زوایای آن، ممکن است که نتایج متفاوتی داشته باشد (ازوجی و همکاران، ۱۳۹۸).

همان‌طور که در ادبیات اقتصادی آمده است، متغیر سرمایه انسانی، یک متغیر پنهان بوده و تحت تأثیر عوامل مختلف است و موارد ذکر شده در قسمت مبانی نظری، از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شکل‌گیری و متغیرهای اصلی همراه کننده متغیر سرمایه انسانی می‌باشند. بر این اساس، برای

---

۱. مدل، بدون متغیر مجذور درآمد سرانه و اضافه نمودن متغیر توان سوم درآمد سرانه (GDP3) تخمین زده شد که نتایج، بیانگر این بود که متغیر توان سوم درآمد سرانه، از لحاظ آماری، معنی‌دار نمی‌باشد ولذا از مدل‌های تحقیق، حذف گردید و متغیر مجذور درآمد سرانه در مدل‌های تحقیق آورده شد. لازم به ذکر است که نتایج تخمین مدل با متغیر توان سوم GDP در صورت لزوم، در اختیار متقاضیان قرار می‌گیرد.

۲. از آنجا که نتایج برآورد مدل با شاخص متوسط سال‌های تحصیل، بیانگر عدم معنی‌داری آماری و ناسازگاری ضرایب با ادبیات تحقیق بود، لذا جهت جلوگیری از طولانی شدن بحث، نتایج برآورد این مدل، در مقاله گزارش نگردیده است. در صورت لزوم، نتایج در اختیار متقاضیان قرار می‌گیرد.

استخراج شاخص‌های تعیین کننده سرمایه انسانی، از مطالعه مبانی نظری و مرور مطالعات در زمینه موضوع استفاده شد.

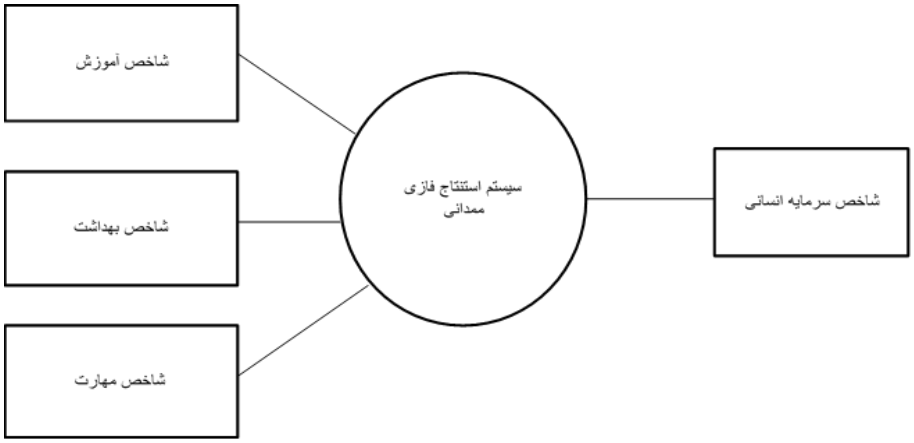
از آنجا که سرمایه انسانی، یک مفهوم کیفی بوده و برای اینکه به یک مفهوم کمی تبدیل شود، می‌توان با استفاده از منطق فازی، یک شاخص برای سرمایه انسانی ساخت که تحت‌تأثیر متغیرهای مؤثر بر آن باشد. پس از مرور ادبیات موضوع در قسمت‌های قبلی، می‌توان استنباط نمود که متغیرهای آموزش، سلامت و مهارت، ازجمله مهم‌ترین پراکسی‌های همراه‌کننده سرمایه انسانی می‌باشند. لازم به ذکر است که جنبه تجربه و سایر جنبه‌های سرمایه انسانی، به‌دلیل موجود نبودن آمار و اطلاعات در اقتصاد ایران، برای محاسبه در نظر گرفته نشده است. پراکسی‌های مختلفی برای شاخص سرمایه انسانی و استخراج داده‌ها وجود دارد. از این پراکسی‌ها و متغیرهای همراه کننده، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- متوسط سال‌های تحصیل (شاخص آموزش): در این تحقیق، برای پراکسی آموزش سرمایه انسانی، از متوسط سال‌های تحصیل استفاده گردیده است.

- سرانه مخارج بهداشتی (شاخص سلامت): این متغیر، از تقسیم میزان مخارج بهداشت و درمان خانوار بر جمعیت کشور محاسبه شده است.

- تعداد گواهی‌نامه‌های مهارت‌آموزی صادرشده توسط سازمان فنی حرفه‌ای تقسیم بر جمعیت فعال کشور (شاخص مهارت و تخصص): کیفیت آموزش مهارتی و متناسب با نیاز بازار کار بودن اهمیت دارد. اما متأسفانه داده‌ای قابل استناد برای لحاظ نمودن این مهم در تحقیق منتشر نمی‌شود؛ لذا برای پراکسی مهارت، تنها به سرانه تعداد گواهی نامه‌های مهارت آموزی بسنده شده است.

بعد از مشخص شدن متغیرهای تعیین‌کننده سرمایه انسانی با استفاده از روش منطق فازی که در ادامه توضیح داده می‌شود، سیستم استنتاج فازی (FIS) برای محاسبه این شاخص به‌صورت زیر است:



نمودار ۱. سیستم استنتاج فازی (FIS) برای شاخص سرمایه انسانی

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که در نمودار (۱) مشاهده می‌شود، متغیرهای مؤثر بر سرمایه انسانی که بر اساس پیشینه تحقیق و ادبیات موضوع تعیین شده، شامل آموزش، تخصص و مهارت و بهداشت است که با استفاده از سیستم استنتاج فازی ممدانی، شاخص سرمایه انسانی را محاسبه می‌کنند. در این مطالعه، از سیستم استدلال ممدانی[1] استفاده شده است.

داده‌های لازم برای این مطالعه، از وب سایت بانک مرکزی، سالنامه‌های آماری و مرکزآمار ایران گردآوری شده است. ازآنجاکه مدل این تحقیق، پویا بوده و شرایط گشتاورهای تعمیم‌یافته را برقرار می‌سازد، لذا برای برآورد مدل، از روش اقتصادسنجی GMM سری زمانی استفاده شده است. روش GMM در سری‌های زمانی برای مدل‌های پویایی به‌کاربرده می‌شود که اولاً، شرایط گشتاورها و خواص مجانبی را تأمین کنند و ثانیاً، مدل خطی باشد.

استفاده از این روش جهت تخمین مدل، مزیت‌های فراوانی دارد. برای مثال بک و همکاران (Beck *et al.*, 2000)، استفاده از این تخمین‌زن را جهت برطرف کردن واریانس داده‌های سری زمانی، بسیار مناسب می‌دانند. تخمین‌زن GMM با محاسبه تأثیرات ویژه فردی مشاهده نشده در مدل (که به‌صورت وارد کردن متغیر وابسته با وقفه به‌عنوان یک متغیر توضیحی در مدل انجام می‌شود)، کنترل بهتری بر درونزایی کل متغیرهای توضیحی مدل فراهم می‌کنند. مزیت دیگر این روش نسبت به روش‌های پیشین، آن است که در این تکنیک می‌توان پارامترهای مدل را بدون هرگونه

---

۱. به‌دلیل طولانی شدن بحث و محدودیت صفحات مقاله، از ارائه روش‌شناسی کامل روش منطق فازی خودداری شده است. برای مطالعه بیشتر این روش، به مقاله کازرونی و همکاران (۱۳۹۵) مراجعه گردد.

فرضی در مورد توزیع متغیرها برآورد کرد. افزون بر این، چون در این روش، از متغیرهای ابزاری استفاده می‌شود، از ایجاد همبستگی بین متغیرها و جزء اخلال مدل جلوگیری به عمل آید (عزتی و همکاران، ۱۳۹۸). در نهایت اینکه، این روش اجازه می‌دهد که خودهمبستگی سریالی در جزء اخلال وجود داشته باشد[1] (محمد زاده و همکاران، ۱۳۹۴ و تقی‌نژاد عمران و بهمن، ۱۳۹۱).

۴. یافته‌های پژوهش

۴-۱. برآورد شاخص سرمایه انسانی

ابتدا برای هر یک از متغیرهای ورودی و خروجی، عبارات زبانی کم (L)، متوسط (N) و زیاد (H) را در نظر می‌گیریم و برای ایجاد یک مقدار پایه، از میانگین متحرک برای هر متغیر ورودی استفاده می‌کنیم. برای اینکه چرخه‌های احتمالی در داده‌ها به حساب آورده شود، از داده‌ها، میانگین متحرک ۵ ساله گرفته شده است. مقدار میانگین، مقدار نرمال از اجزای مجموعه متغیرها را نشان می‌دهد. سپس برای تعیین نقاط شکست داده‌ها، یک یا دو انحراف معیار، حول مقدار نرمال در هر دوره حاصل می‌شود.

جدول ۱. توابع عضویت

زیاد	متوسط	کم
HIGH	MEDIUM	LOW
+SD	Mean	-SD

مأخذ: یافته‌های تحقیق

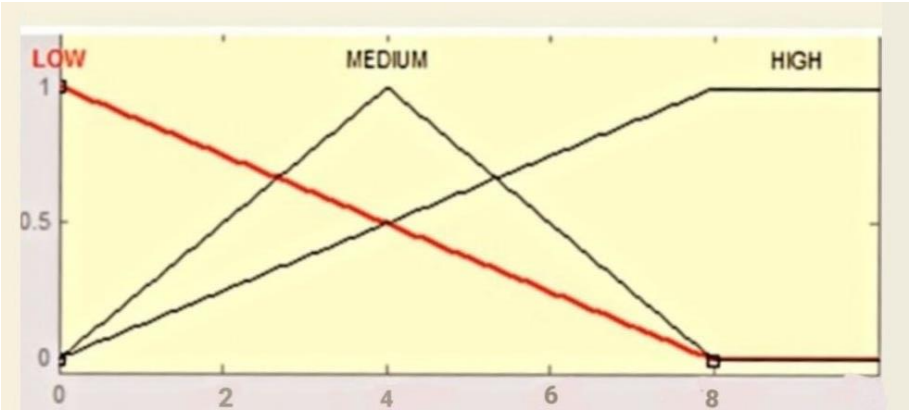
بعد از تعیین نقاط شکست داده‌ها، بسته به نظر طراح سیستم، می‌توان توابع مختلفی از نظر شکل و یا درجه پیچیدگی برای هر متغیر انتخاب کرد. با توجه به اینکه توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای، از سادگی و دقت بالایی برخوردار هستند[2]، در این مطالعه، از این دو نوع تابع عضویت

---

۱. برای جلوگیری از طولانی شدن بحث، از توضیحات مفصل روش‌شناسی روش GMM در سری‌های زمانی خودداری شده است. لذا برای مطالعه بیشتر در این زمینه، به همیلتون (Hamilton, 1994)، گرینر (Greiner *et al.*, 2016) و گرین (Greene, 2011) مراجعه شود.

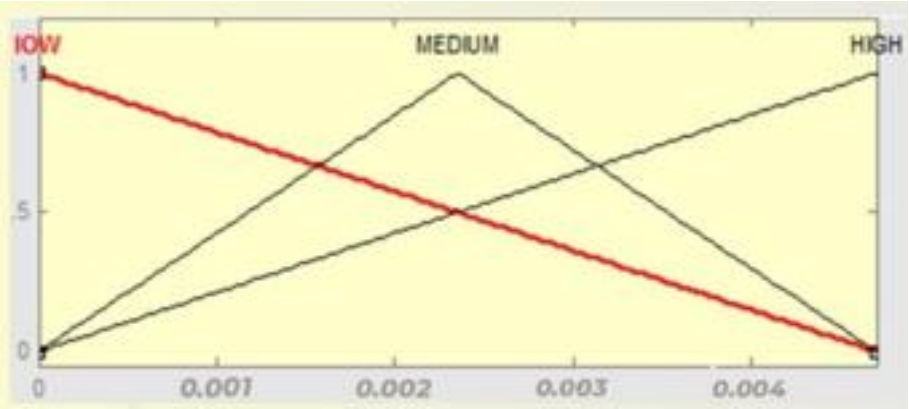
۲. خروجی سیستم‌های فازی، به‌شدت نسبت به شکل توابع عضویت، و تعداد حالت‌های متغیرهای زبانی حساس هستند. لذا حالات مختلف (از متغیرهای زبانی ۵ حالته یا ۷ و یا ۹ حالته) توابع عضویت مورد استفاده قرار گرفت و نتایج در حالتی که از توابع عضویت مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده شد، با ادبیات تحقیق سازگاری بیشتری پیدا کرد. به دلیل طولانی شدن مقاله و محدودیت صفحات مقاله، از ارائه سایر برآوردها خودداری شد؛ لذا تنها نتایج محاسبه حالت ۳ زبانی در مقاله گزارش گردید.

استفاده می‌شود. بعد از انجام مراحل بالا، توابع عضویت متغیر خروجی یعنی شاخص سرمایه انسانی و متغیرهای ورودی یعنی آموزش، مهارت و بهداشت، محاسبه و به‌ترتیب، در نمودارهای (۲)، (۳)، (۴) و (۵)، نشان داده شده است.



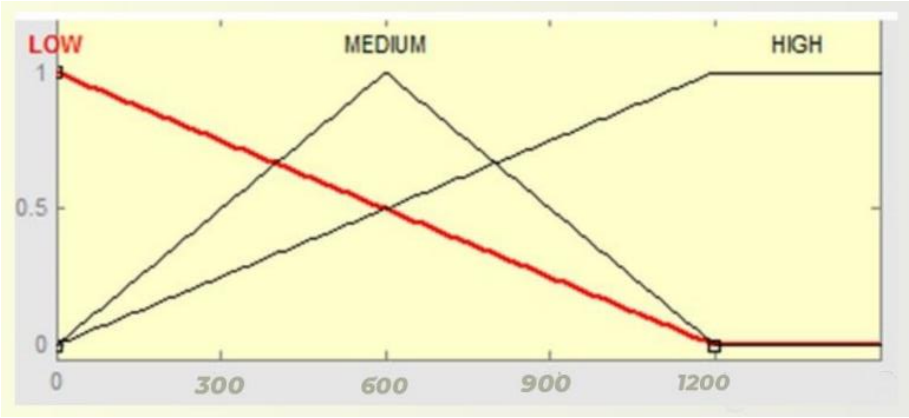
نمودار ۲. تابع عضویت متغیر آموزش

مأخذ: یافته‌های تحقیق



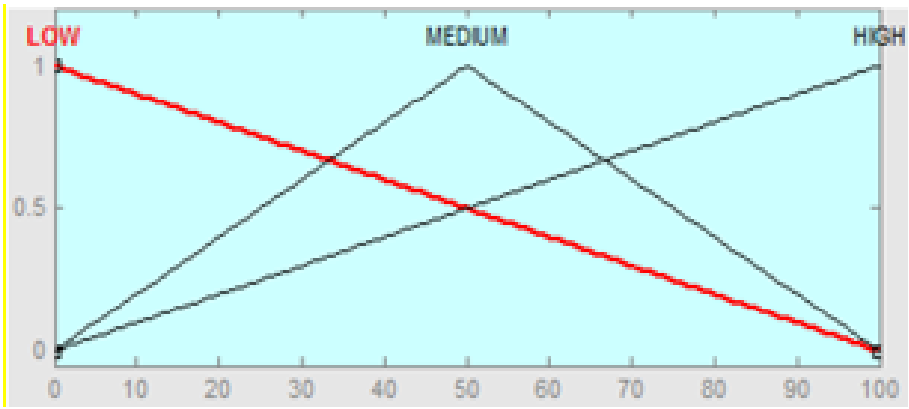
نمودار۳. تابع عضویت متغیر مهارت

مأخذ: یافته‌های تحقیق



نمودار۴. تابع عضویت متغیر سلامت

مأخذ: یافته‌های تحقیق



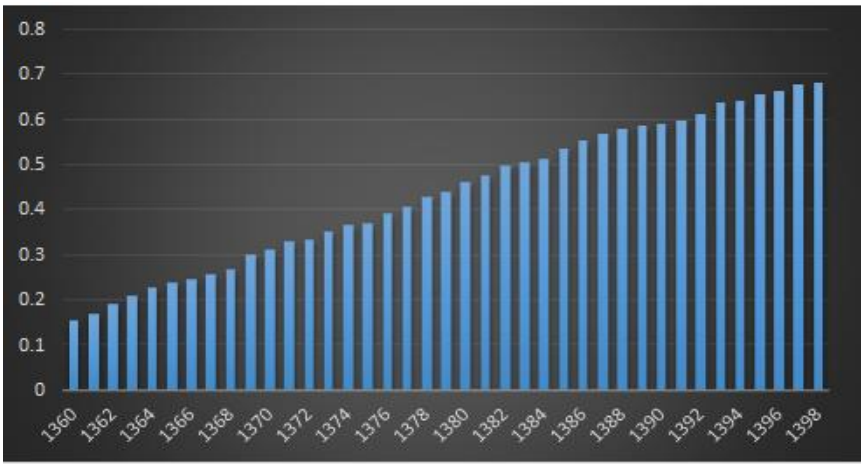
نمودار ۵. تابع عضویت شاخص سرمایه انسانی

مأخذ: یافته‌های تحقیق

قواعد تصمیم‌گیری ترکیب سطوح ویژه، همراهی بین سه متغیر همراه‌کننده سرمایه انسانی را تعیین می‌کند تا سطوح همراهی برای شاخص سرمایه انسانی ایجاد شود. در واقع، درجه همراهی، درجه کمی شدن شاخص سرمایه انسانی است. این قواعد ذهنی و برگرفته از مطالعات پیشین، دانش و برداشت منطقی کارشناسان و خبرگان، از تأثیر این متغیرها بر سرمایه انسانی است.

بعد از تعیین قواعد فازی، باید نوع تابع مورد استفاده برای فازی‌زدایی (تبدیل ارزش‌های زبانی به اعداد قطعی) مشخص شود، که در این تحقیق، از تابع مرکز سطح، برای فازی‌زدایی متغیر خروجی، استفاده، و بعد از انجام مراحل فوق، سیستم استنتاج فازی برای شاخص سرمایه انسانی با استفاده از نرم افزار متلب[1] شبیه‌سازی شده است. این شاخص، با استفاده از متغیرهای ورودی و سیستم استنتاج فوق، برای هر سال، خروجی می‌سازد. این شاخص عددی، بین صفر و یک است و وضعیت سرمایه انسانی هر سال ایران را نشان می‌دهد.

با توجه به آنچه که در روش‌شناسی و ادبیات وجود دارد و در ورودی‌ها و قواعد فازی بیان شد، می‌توان نتایج حاصل از برآورد شاخص سرمایه انسانی به وسیله منطق فازی را در نمودار (۶) مشاهده نمود:



نمودار ۶. شاخص سرمایه انسانی طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۶۰

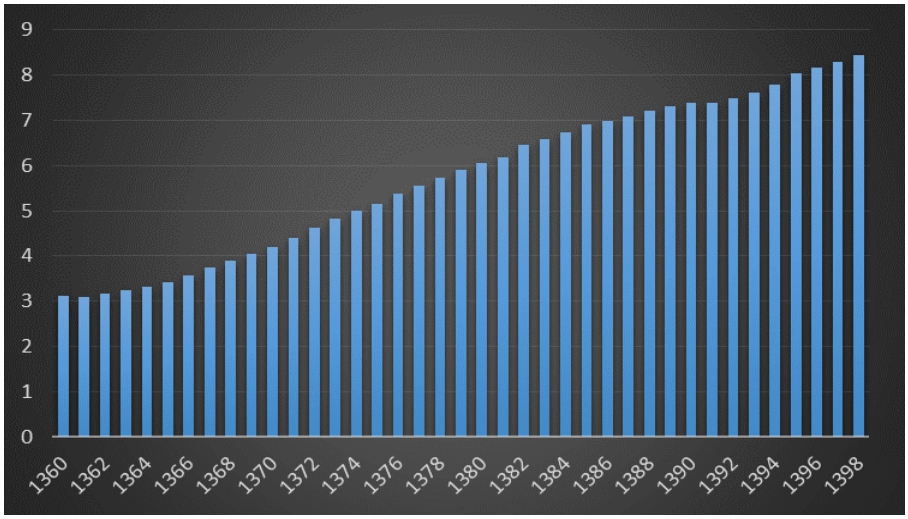
مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان‌طور که نمودار (۶) نشان می‌دهد، شاخص سرمایه انسانی طی سال‌های مورد بررسی تحقیق، افزایش چشمگیری را تجربه کرده است و این مهم را می‌توان ناشی از گسترش آموزش عالی، دوره‌های کاربردی مهارت آموزی و بهبود وضعیت سلامت و بهداشت طی سال‌های اخیر دانست. خصوصیت فوق‌العاده سرمایه انسانی برای رشد انبوه در یک دوره زمانی، ایجاب می‌کند که آموزش، بهداشت و مهارت، موجب انباشت این سرمایه شوند. رشد سرمایه فیزیکی به علت سیکل‌های تجاری و کسب و

1. Matlab

کار، همیشه پایدار نیست؛ اما سرمایه انسانی با توجه به مؤلفه‌های همراه کننده‌ای (آموزش، مهارت و بهداشت) که دارد، پتانسیل رشد مداوم را دارا می‌باشد.

از آنجا که وضعیت نظام آموزشی و بهداشت و درمان در سال‌های مورد بررسی تحقیق، روند رو به رشدی را تجربه نموده است، می‌توان اظهار داشت که نتیجه حاضر، با توجه به ورودی‌های استنتاج فازی، منطقی به نظر می‌رسد. لذا همان‌طور که سری زمانی شاخص برآوردی سرمایه انسانی نشان می‌دهد، در ایران طی سال‌های مورد بررسی تحقیق، انباشت سرمایه انسانی دارای یک آهنگ رشد پایدار بوده و این مهم، توسط رشد میزان سرانه آموزش، بهداشت و مهارت، تبیین، و نتایج حاصل از برآورد متوسط سال‌های تحصیل، در نمودار (۷) گزارش شده است:



نمودار ۷. متوسط سال‌های تحصیل طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۶۰

بر اساس نمودار (۷)، می‌توان استدلال نمود که متوسط سال‌های تحصیل طی دوره زمانی مورد بررسی تحقیق، افزایش یافته، به‌طوری که در سال ۱۳۶۰، متوسط ۳/۳ سال و در سال ۱۳۹۸، متوسط ۸/۴ سال تحصیل بوده است.

این نتایج، نشان می‌دهد که متوسط سال‌های تحصیل نیز همانند شاخص برآوردی سرمایه انسانی، روند رو به رشدی را طی ۱۳۹۸-۱۳۶۰ سپری نموده است؛ اما میزان رشد در شاخص سرمایه انسانی برآوردی به وسیله منطق فازی، بیشتر از پراکسی متوسط سال‌های تحصیل می‌باشد؛ به‌طوری‌که رشد

متوسط سال‌های تحصیل طی دوره مورد بررسی، ۱۵۴ درصد بوده، اما رشد شاخص برآوردی سرمایه انسانی به وسیله منطق فازی، برابر ۳۵۳ درصد می‌باشد.

۲-۴. برآورد مدل در حالت استفاده از شاخص فازی

برای اطمینان از درستی ضرایب برآوردی مدل، می‌باید آزمون‌های مانایی، ایستایی متغیرها را تأیید کنند. در بررسی حاضر، آزمون مانایی متغیرهای مدل به‌وسیله آزمون‌های متداول دیکی- فولر تعمیم‌یافته و فلیپس - پرون انجام می‌شود. نتایج آزمون ایستایی متغیرها در جدول (۲) و (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲. بررسی ایستایی متغیرهای مدل پژوهش براساس آزمون دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF)

متغیر	نوع	مقدار	نتیجه ایستایی
LCO2	مقدار آماره	-۶/۰۷۵	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۱	
LGDP	مقدار آماره	-۶/۱۱۳	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۱	
LTR	مقدار آماره	-۵/۹۳۶	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۱	
LHC	مقدار آماره	-۲/۹۸۸	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۴	
LURB	مقدار آماره	-۹/۵۴۳	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۰	
LIND	مقدار آماره	-۵/۷۲۴	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۲	
LEC[1]	مقدار آماره	-۵/۰۴۱۹	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۱۲	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

۱. متغیر پراکسی متوسط سال‌های تحصیل

جدول ۳. بررسی ایستایی متغیرهای مدل پژوهش بر اساس آزمون فلیپس - پرون (PP)

متغیر	نوع	مقدار	نتیجه ایستایی
LCO2	مقدار آماره	-۶/۰۷۵	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۱	
LGDP	مقدار آماره	-۶/۱۱۳	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۱	
LTR	مقدار آماره	-۵/۹۳۴	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۱	
LHC	مقدار آماره	-۲/۹۶۱	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۴۳	
LURB	مقدار آماره	-۹/۵۴۳	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۰	
LIND	مقدار آماره	-۵/۷۲۴	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۲	
LEC	مقدار آماره	-۵/۱۶۲۹	ایستا
	سطح احتمال	۰/۰۰۰۹	

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به اینکه فرضیهٔ H_0 آزمون، نشان‌دهندهٔ وجود ریشهٔ واحد برای هر متغیر است، چنانچه P-Value محاسبه شده، کمتر از ۵ درصد باشد، فرضیهٔ وجود ریشه واحد برای آن متغیر رد می‌شود. بررسی ایستایی متغیرهای الگو بر اساس آزمون‌های دیکی فولر تعمیم‌یافته و فلیپس - پرون (PP)، نشان می‌دهد که تمامی متغیرها مانا هستند.

در جدول (۴)، نتایج حاصل از تخمین مدل تحقیق، با استفاده از شاخص محاسبه شده فازی برای سرمایه انسانی نشان داده شده است:

جدول ۴. نتایج برآورد مدل با استفاده از شاخص فازی سرمایه انسانی

متغیر توضیحی	ضریب	انحراف معیار	آماره T	سطح احتمال
$LCO_2(-1)$	۰/۴۲۸۴	۰/۲۱۶۴	۱/۹۷۹۶	۰/۰۵۷۰
LGDP	۰/۲۷۷۱	۰/۱۱۸۴	۲/۳۳۹۴	۰/۰۲۶۲
$LGDP^2$	-۰/۶۲۶۳	۰/۱۹۷۶	-۳/۱۶۸۸	۰/۰۰۳۵
LHC	-۰/۷۲۹۰	۰/۲۲۳۰	-۳/۲۶۷۹	۰/۰۰۲۷
LIND	۰/۲۹۰۴	۰/۱۰۶۱	۲/۷۳۶۸	۰/۰۱۰۳
LTR	۰/۴۲۸۶	۰/۱۳۵۱	۳/۱۷۲۶	۰/۰۰۳۵
LURB	۰/۱۹۵۹	۰/۱۰۵۹	۱/۸۴۹۵	۰/۰۷۴۳
آزمون سارگان	آماره J-statistic: = ۳/۵۵۵۴			۰/۰۵۹۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

با توجه به نتایج جدول (۴)، می‌توان اظهار داشت، در صورتی که در مدل تحقیق، از شاخص محاسبه شده به‌وسیله منطق فازی برای سرمایه انسانی استفاده گردد، برآورد مدل از لحاظ آماری و تئوریک، ضرایب سازگار و معنی‌داری را ارائه داده است. مدل برآوردی ازنظر شاخص‌های آماری در وضعیت مناسبی قرار دارد. فرضیه صفر آزمون سارگان را نمی‌توان رد کرد و ازاین‌رو، می‌توان گفت که متغیّرهای ابزاری استفاده شده در مدل برآوردی، معتبر هستند؛ زیرا فرض صفر آزمون سارگان، بر معتبر بودن ابزارها دلالت دارد.

آلودگی هوا در دوره قبل در سطح اطمینان ۹۰ درصد، تأثیر مثبت و معنادار بر آلودگی هوا در ایران داشته است؛ به طوری که با افزایش ۱ درصدی انتشار دی اکسید کربن دوره t-1، میزان انتشار کربن دی اکسید، ۰/۴۲۸ درصد افزایش می‌یابد. سرمایه انسانی، تأثیر منفی و معناداری بر آلودگی هوا دارد؛ به‌طوری‌که کشش انتشار کربن دی اکسید نسبت به سرمایه انسانی، برابر ۰/۷۲۹- می‌باشد؛ یعنی با افزایش یک درصدی شاخص سرمایه انسانی، از آلودگی هوا، ۰/۷۲۹ درصد کاسته می‌شود.

میزان آگاهی شهروندان و التزام آنها به رعایت ملاحظات محیط‌زیستی، می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کنترلی در حوزه انتشار آلودگی به حساب آید. اصولاً در جوامعی که مردم از سطح تحصیلات بالاتری برخوردار می‌باشند و نگرانی بیشتری نسبت به خطرهای محیط‌زیست و عواقب آن دارند، آلودگی کمتر است.

همان‌گونه که از تئوری‌های اقتصادی و مطالعات تجربی استنباط شد که رشد اقتصادی تأثیر مثبت بر آلودگی دارد، در مطالعه حاضر نیز، این رابطه در فاصله اطمینان ۹۵ درصد، مثبت و معنادار

ارزیابی شده، و مجذور درآمد سرانه، تأثیر منفی و معناداری بر آلودگی هوا داشته است؛ لذا این نتیجه، بیانگر صدق کردن فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس در ایران می‌باشد.

اصل تعادل مواد نیز نشان می‌دهد که مواد اولیه و انرژی، متناسب با فعالیت‌های اقتصادی، مصرف می‌شوند و لذا رشد اقتصادی به‌طور اجتناب ناپذیری، سبب ظهور آسیب‌های محیط‌زیستی می‌گردد. نظریه دیگری که در تکامل این نظریه وجود دارد و مورد قبول بانک جهانی و کشورهای بسیاری نیز می‌باشد، این است که رشد اقتصادی، به‌جای تهدید محیط‌زیست، می‌تواند به بهبود کیفیت آن کمک کند. به عبارت دیگر، به‌تدریج که رشد اقتصادی سبب افزایش کالاها و خدمات می‌گردد، انگیزه‌های حمایت از محیط‌زیست نیز اهمیت بیشتری می‌یابد.

کشش آلودگی نسبت به آزادی تجاری، برابر ۰/۴۲۸ می‌باشد. به‌طور مشخص، تجارت شامل صادرات و واردات کالاها است و به لحاظ تئوری، دلایل متعددی برای اینکه چرا صادرات می‌تواند بر مصرف انرژی تأثیرگذار باشد، وجود دارند. برای اینکه رشدی در صادرات افزایش یابد، باید ماشین‌آلات و تجهیزاتی برای بارگیری و حمل‌ونقل کالاهای صادراتی، به بنادر، فرودگاه‌ها و یا ایستگاه‌های تخلیه بار فرستاده شوند.

ماشین آلات و تجهیزات در فرایند تولید و حمل‌ونقل کالاها برای صادرات، نیازمند انرژی اولیه هستند و هرگونه افزایش در صادرات، بیانگر رشد فعالیت‌های اقتصادی است و این رشد، باعث افزایش تقاضای انرژی می‌شود. بنابراین، کالاهای ساخته شده صادراتی، نیازمند انرژی برای حمل‌ونقل هستند؛ یعنی بدون انرژی کافی برای حمل‌ونقل، توسعه صادرات تضعیف می‌شود. واردات نیز می‌تواند مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار دهد. اگر واردات شامل ماشین آلات، تجهیزات و تکنولوژی جدید باشد، سبب افزایش تولید و افزایش استفاده از انرژی خواهد شد. علاوه‌براین، واردات کالا از طریق شبکه حمل‌ونقل صورت می‌گیرد که باعث مصرف انرژی سوخت توسط سیستم حمل‌ونقل می‌شود.

سیاست توسعه آزادی اقتصادی با ایجاد تقسیم کار و استفاده از مزیت‌ها، ظرفیت بهره‌برداری بیشتر در صنایع، افزایش در نرخ تشکیل سرمایه و تغییر تکنولوژی، و ایجاد رقابت در بازارهای بین-المللی، به بازدهی کل عوامل تولید در سطحی بالاتر منجر می‌شود و درنتیجه، بر رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست تأثیرگذار است.

در فاصله اطمینان ۹۰ درصد، شهرنشینی، تأثیر مثبت و معناداری بر آلودگی هوا داشته است. تمرکز کارخانه‌ها و شرکت‌های تولیدی در مراکز شهری، باعث می‌شود که جمعیت روستایی با هدف یافتن شغل، کسب درآمدهای بالاتر و استفاده از امکانات عمومی گسترده، به سمت مناطق شهری حرکت کنند. پدیده شهرنشینی نیز الگوی مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار داده و استفادهٔ بی رویه از آن را موجب می‌شود. دلیل اصلی افزایش مصرف انرژی در پی بروز پدیده شهرنشینی، تغییر الگوی

مصرف مردم، افزایش تقاضای کالاها و خدمات و درنتیجه، افزایش مقیاس تولید و همچنین افزایش مصرف انرژی در بخش حمل‌ونقل، به‌دنبال تولید خودروهای شخصی و تحول در سیستم حمل ونقل عمومی، اعم از مسافری و باری می‌باشد.

صنعتی شدن و افزایش سهم ارزش افزوده بخش صنعت از تولید ناخالص داخلی، در سطح معنی-داری ۵ درصد، تأثیر مثبت بر آلودگی داشته است. صنعتی‌شدن، فرایندی است که به طرق مختلف از جمله تغییرات تکنولوژیک رخ می‌دهد و استفاده از تکنولوژی تولید پیشرفته از طریق ایجاد کارآیی در تولید ،موجب به‌کارگیری کمتر نهاده‌ها از جمله انرژی برای تولید یک واحد محصول شده و کارآیی انرژی را افزایش می‌دهد؛ اما به نظر می‌رسد، ساختار بخش صنعت کشور به‌گونه‌ای است که از تکنولوژی قدیمی استفاده می‌کند که عمدتاً مصرف انرژی بالایی دارد؛ چراکه استفاده از تکنولوژی پیشرفته، به مخارج تحقیق و توسعه بیشتری نیاز دارد و ممکن است که سهم اندک این مخارج، به ایجاد تکنولوژی های انرژی اندوز منجر نشود.

۵. جمع‌بندی و توصیه‌های سیاستی

امروزه مشکلات زیست‌محیطی بویژه مسائل مربوط به آلودگی هوا، یکی از معضلات اصلی کلان شهرهای جهان است که هر روزه، بر ابعاد و عوارض جانبی آن افزوده می‌شود. می‌توان یکی از منابع اصلی آلودگی هوا را انسان دانست. گازهای حاصل از احتراق سوخت وسایل نقلیه و کارخانجات از مهمترین آلاینده‌های هوا به شمار می‌روند.

بررسی مبانی نظری و مطالعات تجربی نشان داد که کیفیت نیروی انسانی بر فرایند تولید و انتشار آلودگی تأثیرگذار بوده و می‌تواند نقش ویژه‌ای در تخریب و یا حفاظت محیط‌زیست داشته باشد. در این مقاله، با استفاده از روش GMM، به بررسی اثر سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در ایران در دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۶۰ پرداخته شده است. محققان برای وارد کردن سرمایه انسانی در بحث‌های اقتصادی و مدل‌های اقتصادسنجی، شاخص‌های مختلف را در نظر می‌گیرند. ابتدا مدل تحقیق با استفاده از شاخص متوسط سال‌های تحصیل (پراکسی برای سرمایه انسانی) برآورد گردید. اما برخی ضرایب برآوردی مدل، از لحاظ آماری، اثر معنی‌داری بر آلودگی هوا نداشتند و برخی دیگر از ضرایب، سازگاری لازم با مبانی نظری و مطالعات پیشین را ندارند. بر این اساس، می‌توان اظهار داشت که سرمایه انسانی، یک شاخص ترکیبی بوده و لازم است که این شاخص، برآورد و محاسبه گردد.

با استفاده از بررسی مطالعات پیشین و مبانی نظری موضوع، سه متغیر آموزش، مهارت و بهداشت به عنوان مهمترین متغیرهای مؤثر بر شکل‌گیری سرمایه انسانی شناسایی گردیدند. سپس با استفاده از روش منطق فازی و استنتاج ممدانی، سری زمانی شاخص سرمایه انسانی در ایران برآورد شد. نتایج این محاسبه، نشان می‌دهد که شاخص سرمایه انسانی در سال‌های آخر دوره مورد بررسی، افزایش

قابل توجهی داشته است که می‌تواند به علت افزایش آموزش، مهارت آموزی و بهبود وضعیت بهداشت و درمان در جامعه باشد. پس از استفاده از این شاخص و تخمین مدل ضرایب از لحاظ آماری و مبانی نظری، معنی‌داری و سازگاری لازم را دارا می‌باشند.

این نتایج، بیانگر مناسب بودن روش شاخص ترکیبی برای محاسبه سرمایه انسانی می‌باشد. شاخص متوسط سال‌های تحصیل که در اغلب مطالعات از آن استفاده شده است، نمی‌تواند پراکسی کارآمدی برای سرمایه انسانی باشد. لذا استدلال می‌گردد که شاخص ترکیبی سرمایه انسانی، علاوه‌بر جنبه آموزش مشتمل جنبه‌های دیگر مانند مهارت و بهداشت نیز می‌باشد. بر این اساس، می‌توان استنباط نمود که محاسبه و برآورد شاخص سرمایه انسانی اقتصاد ایران طی سال‌های مورد بررسی این تحقیق، با استفاده از روش فازی، مطلوب‌تر بوده و می‌تواند در مدل‌های اقتصادی، مورد استفاده قرار گیرد. در ادامه، خلاصه نتایج برآورد مدل آلودگی هوا، ذکر گردیده است:

نتایج برآورد مدل، نشان داد که سرمایه انسانی، اثر منفی و معناداری بر آلودگی هوا داشته است. تشکیل سرمایه انسانی ،فرایند بهبود مهارت، دانش و بازدهی افراد برای قدرتمند کردن فعالیت‌ها جهت رسیدن به اهداف مشخص به‌وسیله برنامه‌های انگیزشی و آموزشی سازمان یافته و نظام‌مند است. بهبود نیروی انسانی، باعث افزایش بهره‌وری و بازدهی بنگاه‌های اقتصادی با استفاده از رشد مهارت‌های کارکنان آن می‌شود. علوم و تکنولوژی‌های سازگار با محیط‌زیست، عمدتاً جدید، و با سرعت بسیار بالایی در حال رشد می‌باشند. یک بنگاه اقتصادی با مسؤولیت‌های برنامه‌ریزی، مدیریتی و نظارتی، باید به شکل کاملاً تخصصی، پروژه‌های اجرایی را به انجام برساند.

نتایج بررسی، همچنین نشان داد که شهرنشینی و صنعتی شدن، اثر مثبت و معناداری بر آلودگی هوا دارند. این نتیجه، بیانگر آن است که با افزایش تعداد بنگاه‌های صنعتی و روند رو به رشد شهرنشینی در ایران طی دوره مورد بررسی، میزان آلودگی هوا افزایش یافته است. یک علت این امر، آن است که بیشتر صنایع ایران انرژی‌بر هستند و از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند. علت دیگر آن، می‌تواند تکنولوژی فرسوده با بازدهی کم در تولید باشد. با افزایش شهرنشینی در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۶۰، شاهد افزایش وسایل نقلیه، و تولید بیشتر زباله بوده‌ایم که موجبات بیشتر شدن آلودگی هوا را فراهم ساخته است.

دیگر نتایج بررسی، نشان داد که درآمد سرانه و آلودگی دوره قبل، اثر مثبت و معناداری بر آلودگی داشته‌اند. همچنین مجذور درآمد سرانه، اثر منفی و معناداری بر رشد اقتصادی داشته است. این نتیجه، بیانگر تأیید فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس طی دوره بررسی در ایران می‌باشد. آزادی تجاری نیز، اثر مثبت و معناداری بر آلودگی هوا دارد. این نتایج، همراستا با مبانی نظری و نتایج سایر مطالعات می‌باشد.

با توجه به یافته‌های مقاله، مبنی بر نقش سرمایه انسانی در کاهش آلودگی هوا، به‌منظور تقویت سرمایه انسانی در جهت کاهش آلودگی هوا و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست، پیشنهاد می‌شود:

- با توجه به اینکه متغیرهای آموزش، مهارت و بهداشت روی تشکیل سرمایه انسانی اثرگذار هستند، می‌توان پیشنهاد نمود که سیاست‌گذاران اقتصادی و اجتماعی روی این متغیرها سرمایه‌گذاری ویژه‌ای داشته باشند تا بتوان تشکیل سرمایه انسانی را افزایش داد.
- در صنایع تولیدی و انرژی‌بر کشور، از متخصصان دارای تحصیلات عالی در زمینه‌های مختلف استفاده شود.
- افزایش مراکز مهارت آموزی و بهبود کیفیت این آموزش‌ها و برگزاری دوره‌های آموزشی عملی بیشتر در کشور، می‌تواند موجب بهبود وضعیت سرمایه انسانی گردد.
- سیاست‌های مناسب بهداشت و درمان در جهت تقویت سلامت جسمی و روانی نیروی فعال اقتصادی، تدوین شود.
- کارکنانی که دانش و مهارت لازم را داشته باشند، کارها و وظایف محوله را به‌درستی انجام خواهند داد. بنابراین، برای بهبود سطح بهره‌وری، علاوه‌بر مدنظر قرار دادن سایر ویژگی‌ها، می‌باید در سازماندهی کارکنان، داشتن تخصص به‌عنوان یکی از اصول اساسی در گزینش افراد مدنظر باشد. لازم به ذکر است که جذب و به‌کارگماری کارکنان شایسته، نیازمند ایجاد یک نظام منابع انسانی است که در آن، شایسته‌سالاری حاکم باشد.
- متخصصان و کارشناسان مرتبط، باید به‌طور منظم، تحت آموزش‌های تخصصی مورد نیاز قرار گیرند تا با دانش روز آشنا شوند و امکان پیش بردن پروژه‌های مرتبط را داشته باشند.

منابع و مآخذ

ازوجی، علاءالدین؛ عصاری، عباس؛ واعظ مهدوی، محمدرضا و کشاورز حداد، غلامرضا (۱۳۹۸). تأثیر مؤلفه‌های سرمایه انسانی بر بهره‌وری شاغلان حقوق بگیر خصوصی؛ شواهدی مبتنی بر ریزداده‌ها. *پژوهشنامه اقتصادی*، دوره ۱۹، شماره ۷۲: ۱۸۳-۱۴۱.

اکبر موسوی، سید صالح و حقیقت، جعفر (۱۳۹۵). برآورد سری زمانی سرمایه انسانی بر مبنای متوسط سال‌های تحصیل (مطالعه موردی ایران، سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۵۷). *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، دوره ۵، شماره ۱۷: ۱۵۰-۱۳۱.

امینی، علیرضا و حجازی آزاد، زهره (۱۳۸۶). تحلیل و ارزیابی نقش سلامت و بهداشت در ارتقاء بهره‌وری نیروی کار در اقتصاد ایران. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، دوره ۹، شماره ۳۰: ۱۶۳-۱۳۷.

آقایی، مجید؛ رضاقلی زاده، مهدیه و باقری، فریده (۱۳۹۲)، بررسی تأثیر سرمایه انسانی بر رشد اقتصادی در استان‌های ایران. *پژوهش و برنامه ریزی در آموزش عالی*، ۹ (۱): ۴۴-۲۱.

برقی اسکویی، محمدمهدی (۱۳۸۷). آثار آزادسازی تجاری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای (دی اکسید کربن) در منحنی زیست‌محیطی کوزنتس. *تحقیقات اقتصادی*، دوره ۴۳، شماره ۸۲: ۲۱-۱.

تقی‌نژاد عمران، وحید و بهمن، محمد (۱۳۹۱). قاعدهٔ گسترش یافته تیلور: مطالعه موردی ایران ۸۶-۱۳۵۷. *تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، دوره ۳، شماره ۹: ۱۹-۱.

خلیلی عراقی، منصور؛ شرزه‌ای، غلامعلی و برخورداری، سجاد (۱۳۹۱). تحلیل تجزیه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در ایران. *محیط شناسی*، دوره ۳۸، شماره ۶۱: ۱۰۴-۹۳.

سرلک، احمد (۱۳۹۴). تأثیر شاخص‌های سلامت بر رشد اقتصادی استان‌های کشور. *مدیریت بهداشت و درمان*، دوره ۶، شماره ۱: ۱۷-۷.

سلاطین، پروانه و غفاری صومعه، نیلوفر (۱۳۹۵). تأثیر سرمایه انسانی بر کیفیت محیط‌زیست. *انسان و محیط‌زیست*، دوره ۱۴، شماره ۲: ۱۲-۱.

سعیدپور، بهزاد؛ لاهیجانیان، اکرم‌الملوک و شریفی، امین (۱۳۹۶). نقش مدیریت دانش در توسعه پایدار محیط‌زیست (مطالعه موردی: سازمان حفاظت محیط زیست). *پایداری، توسعه و محیط زیست*، دوره ۴، شماره ۴: ۸۱-۷۷.

شهبازی، طیبه؛ شبیری، سیدمحمد و زندی، بهمن (۱۳۹۴). مطالعه نقش رسانه‌های اجتماعی در آموزش مسائل زیست‌محیطی از دیدگاه معلمان مدارس راهنمایی شهرستان سرپل ذهاب. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، دوره ۱۷، شماره ۲: ۱۰۴-۹۵.

صالحی، محمد جواد و جمالی، احسان (۱۳۹۳). اندازه‌گیری سرمایه انسانی با روش هزینه‌یابی مبتنی بر فعالیت و ارزش افزوده اقتصادی. *نامه آموزش عالی*، دوره ۷، شماره ۲۷: ۴۸-۳۵.

عاقلی، لطفعلی؛ صادقی، حسین و اسوار، آرش (۱۳۹۳). تأثیر دموکراسی بر آلودگی محیط‌زیست: شواهدی از کشورهای منتخب صادرکننده نفت. *فصلنامه اقتصاد مقداری*، دوره ۱۱، شماره ۲: ۴۰-۲۱.

عزتی، مرتضی؛ مظفری، زانا و علیلو، خاطره (۱۳۹۸). اثر ساختار سنی جمعیت بر امنیت اقتصادی ایران. *پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار*، دوره ۱۹، شماره ۲: ۱۵۹-۱۲۵.

فطرس، محمد حسن و براتی، جواد (۱۳۹۰). تجزیه انتشار دی اکسیدکربن ناشی از مصرف انرژی به بخش‌های اقتصادی ایران، یک تحلیل تجزیه شاخص. *مطالعات اقتصاد انرژی*، دوره ۸، شماره ۲۸: ۷۳-۴۹.

فطرس، محمد حسن؛ نجارزاده، ابوالفضل و پیروز محمدی، فهیمه (۱۳۹۱). بررسی رابطه میان آلودگی هوا، شدت انرژی و باز بودن اقتصاد ایران. *مجله اقتصادی*، دوره ۱۲، شماره ۱۱ و ۱۲: ۲۲-۵.

فلاحی، فیروز و حکتی فرید، صمد (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر بر میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در استان‌های کشور (رهیافت داده‌های تابلویی). *اقتصاد محیط‌زیست و انرژی*، دوره ۲، شماره ۶: ۱۵۰-۱۲۹.

قربانی، زهرا (۱۳۹۹). ظرفیت تحصیلی، بهره‌مندی از نیروی کار و سرمایه انسانی در میان استان‌های کشور در سال. *مطالعات جمعیتی*، دوره ۶، شماره ۱: ۳۷۲-۳۴۳.

کازرونی، علیرضا؛ کیانی، پویان و مظفری، زانا (۱۳۹۵). برآورد نرخ بهره در ایران با استفاده از منطق فازی. *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، دوره ۹، شماره ۹۳: ۳۰-۷۷.

مبارک، اصغر؛ هژبر کیانی، کامبیز؛ معمارنژاد، عباس و پیکارجو، کامبیز (۱۳۹۷). مطالعه تأثیر کیفیت نهادی و سرمایه انسانی بر رشد اقتصادی. *فصلنامه برنامه‌ریزی و بودجه*، دوره ۲۳، شماره ۱: ۱۴۶-۱۱۷.

محمد زاده، اعظم؛ شهیکی تاش، محمد نبی و روشن، رضا (۱۳۹۴). مقایسه مدل‌های قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه‌ای مبتنی بر مصرف (CCAPM) و مبتنی بر مخارج مصرفی بخش مسکن (HCCAPM) در توضیح بازده سهام در ایران. *نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، دوره ۲، شماره ۳: ۷۲-۴۹.

محمدی، حسین و سخی، فاطمه (۱۳۹۲). تأثیر تجارت، سرمایه‌گذاری خارجی و توسعه انسانی بر شاخص عملکرد محیط‌زیست. *سیاست‌های راهبردی و کلان*، دوره ۱، شماره ۳: ۷۵-۵۵.

مظفری، زانا و متفکر آزاد، محمد علی (۱۳۹۸). تأثیر سرمایه اجتماعی و سرمایه انسانی بر آلودگی هوا در استان‌های ایران. *نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، دوره ۶، شماره ۱: ۱۲۸-۹۷.

مقصودی، فرشته (۱۳۹۳). نقش آموزش‌های فنی حرفه‌ای در اقتصاد کشور و توسعه کسب و کار. *ماهنامه کار و جامعه*، شماره ۱۷۳: ۴۷-۴۰.

منجذب، محمدرضا (۱۳۸۰). انتخاب میان مدل‌های خطی و خطی لگاریتم با اتکاء به روش‌های اقتصادسنجی (بررسی موردی: منحنی انگل). *پژوهشنامه اقتصادی*، دوره ۱، شماره ۲: ۱۳۴-۱۲۱.

واقفی، الهام و حقیقتیان، منصور (۱۳۹۴). نقش سرمایه فرهنگی در رفتارهای اجتماعی زیست‌محیطی (مطالعه تجربی: شهر شیراز). *مجلس و راهبرد*، دوره ۲۲، شماره ۸۴: ۳۹۳-۳۷۱.

ورهرامی، ویدا و عبدالهی، مسعود (۱۳۹۴). بررسی اثر نااطمینانی ناشی از نوسانات حجم اقتصاد بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ایران. *فصلنامه سیاست‌های مالی و اقتصادی*، دوره ۳، شماره ۱۱: ۳۶-۷.

Abowd, J. M.; Lengermann, P., & McKinney, K. L. (2003). The measurement of human capital in the US economy. *Unpublished manuscript, Cornell University*.

Akpan, U., & E Abang, D. (2014). Environmental quality and economic growth: a panel analysis of the "U" in Kuznets, *Journal of Economic Research* 20:317-339

Alam, S.; Fatima, A., & Butt, M. S. (2007). Sustainable development in Pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation. *Journal of Asian Economics*, *18*(5): 825-837.

Barr, C.S.; Newman, T.K.; Becker, M.L.; Parker, C.C.; Champoux, M.; Lesch, K.P.; ..., & Higley, J.D. (2003). The utility of the non- human primate model for studying gene by environment interactions in behavioral research. *Genes, Brain and Behavior*, *2*(6): 336-340.

Barro, R.J. (2001). Human capital and growth. *American Economic Review*, *91*(2): 12-17.

Beck, T.; Levine, R., & Loayza, N. (2000). Finance and the sources of growth. *Journal of financial economics*, *58*(1): 261-300.

Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?. *World development*, *20*(4): 481-496.

Begum, R.A.; Sohag, K.; Abdullah, S.M.S., & Jaafar, M. (2015). CO_2 emissions, energy consumption, economic and population growth in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *41*: 594-601.

Budak, D. (2005). Behavior and attitude of students towards environmental issues at faculty of agriculture. *Turkey Journal of Applied Sciences 5 (7)*: 1224-27: ISSN 1812-5654 Asian Network for Scientific Information. http://adsabs. harvard. edu/abs/2005JApSc... 5.1224 B.

Deng, H., & Huang, J. (2009). Environmental Pollution and Endogenous Growth: Models and Evidence from China. In *Environmental Science and Information*

Application Technology, July 2009. ESIAT 2009. *International Conference on* (Vol. 1: 72-79). ISBN: 978-0-7695-3682-8.

Greene, W. (2011). Fixed effects vector decomposition: A magical solution to the problem of time-invariant variables in fixed effects models?. *Political Analysis*, *19*(2): 135-146.

Greiner, A.; Semmler, W., & Gong, G. (2016). *The Forces of Economic Growth: A Time Series Perspective*. Princeton University Press.

Grossman, M. (2000). The human capital model. *Handbook of health economics*, *1*: 347-408.

Hamilton, J.D. (1994). *Time Series Analysis (Vol. 2)*. Princeton: Princeton university press.

Hartwig, J. (2010). Is health capital formation good for long-term economic growth? Panel Granger-causality evidence for OECD countries. *Journal of Macroeconomics*, *32*(1): 314-325.

Higon, D.A., & Sena, V. (2006). *Productivity, Spillovers and Human Capital: An Analysis for British Establishments Using the ARD Dataset*, DTI.

Howitt, P. (2005). Health, human capital, and economic growth: A schumpeterian perspective. *Health and economic growth: Findings and policy implications*, *1*: 19-40.

Jefferson, M. (2006). Sustainable energy development: Performance and prospects. *Renewable energy*, *31*(5): 571-582.

Jiang, L., & Hardee, K. (2011). How do recent population trends matter to climate change?. *Population Research and Policy Review*, *30*(2): 287-312.

Kwon, D.B. (2009). Human capital and its measurement. In *The 3rd OECD World Forum on "Statistics, Knowledge and Policy" Charting Progress, Building Visions, Improving Life* (pp. 27-30), October.

Lan, J., & Munro, A. (2013). Environmental compliance and human capital: Evidence from Chinese industrial firms. *Resource and Energy Economics*, *35*(4): 534-557.

Li, S., & Zhou, C. (2019). What are the impacts of demographic structure on CO_2 emissions? A regional analysis in China via heterogeneous panel estimates. *Science of the Total Environment*, *650*: 2021-31.

Lim, S.S.; Updike, R.L.; Kaldjian, A.S.; Barber, R.M.; Cowling, K.; York, H.; ..., & Murray, C.J. (2018). Measuring human capital: A systematic analysis of 195 countries and territories, 1990-2016. *The Lancet*, *392*(10154): 1217-34.

Liu, X.; Dong, X.; Li, S.; Ding, Y., & Zhang, M. (2021). Air pollution and high human capital population migration: An empirical study based on 35 major cities in China. *Sustainable Production and Consumption*, *27*: 643-652.

MacKinnon, J.G.; White, H., & Davidson, R. (1983). Tests for model specification in the presence of alternative hypotheses: Some further results. *Journal of Econometrics*, *21*(1): 53-70.

Miciuła, I. (2016). The measurement of human capital methods. *Folia Oeconomica Stetinensia*, *16*(1): 37-49.

Mubarik, M.S.; Chandran, V.G.R., & Devadason, E.S. (2018). Measuring human capital in small and medium manufacturing enterprises: What matters?. *Social Indicators Research*, *137*(2): 605-623.

Mukherjee, S., & Chakraborty, D. (2009). Is there any relationship between Environmental Quality Index, Human Development Index and Economic Growth? Evidences from Indian States. https://mpra.ub.uni-muenchen.de/17207/1/MPRA_paper_17207.pdf

Nasir, M., & Rehman, F.U. (2011). Environmental Kuznets curve for carbon emissions in Pakistan: An empirical investigation. *Energy Policy*, *39*(3): 1857-64.

Oxley, L.; Le, T., & Gibson, J. (2008). Measuring human capital: Alternative methods and international evidence. *Korean Economic Review*, *24*(2): 283-344.

Quimbita, G., & pavel, M. (2005). Assessing on environmental attitude development model: Factor influencing the environmental attitude of college student. Available from http. eric. ed. gov.

Salehi, S. (2010). *People and the Environment: A Study of Environmental Attitudes and Behaviour in Iran*. LAP Lambert Academic Publishing.

Tchanturia, N.; Beridze, T., & Kurashvili, G. (2015). Features of development of the human capital in Georgia. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, *213*: 580-585.

Weatherly, L. A. (2003). Human capital-the elusive assets: Measuring and managing human capital: A strategic imperative for HR. *Research Quarterly*. http://www.shrm.org/research/quarterly/0301capital.pdf.

Wu, C. (2017). Human capital, life expectancy, and the environment. *The Journal of International Trade & Economic Development*, 26(8): 885-906.