اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۷، شمارهٔ ۱۰۶، تابستان ۱۳۹۸

آثار رشد اقتصادی و شهرنشینی استان مازندران در کیفیت محیط زیست آبی با تأکید بر رودخانه‌های استان[۱]

حمید امیرنژاد[۲]، مهسا تسلیمی[۳]، فاطمه مزرعه[۴]

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۲/۱۳

چکیده

فعالیت‌های اقتصادی طیف وسیعی از آسیب‌های محیط‌زیستی نظیر از بین رفتن جنگل‌ها، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی و آلودگی هوا را به همراه دارد. استان مازندران با توجه به ویژگی‌های طبیعی از حیث آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیار غنی و دارای رودهای متعددی است. هدف این پژوهش بررسی رابطه آلودگی آب و رشد اقتصادی در

---

۱. این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی با کد ۱۹-۱۳۹۶-۰۲ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری است.

۲. نویسنده مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(hamidamirnejad@yahoo.com)

۳. دانشجوی دوره دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(taslimi_mahsa@yahoo.com)

۴. دانشجوی دوره دکتری گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(fateme_mazrae@yahoo.com)

استان مازندران در چارچوب منحنی محیط زیستی کوزنتس با استفاده از داده‌های پانل و روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۰ بود. نتایج نشان داد که شاخص آلودگی آب با متغیر شهرنشینی، تولید ناخالص داخلی و مکعب آن رابطه مثبت و با مجذور تولید ناخالص داخلی رابطه منفی دارد. همچنین نتایج، رابطه N شکل میان آلودگی آب و سایر متغیرها را نشان داد. مثبت شدن توان سوم تولید ناخالص داخلی نیز نشان‌دهنده افزایش آلودگی آب همراه با توسعه اقتصادی بود و در این راستا، پیشنهاد شد دولت تصمیمات لازم را برای جلوگیری از افزایش آلودگی بیشتر انجام دهد.

طبقه‌بندی JEL : Q25 ، Q53، R11

کلیدواژه‌ها: آلودگی آب، مازندران، رشد اقتصادی، منحنی کوزنتس، روش گشتاورهای تعمیم‌یافته

مقدمه

حجم آب موجود در سطح زمین تقریباً معادل ۱/۳۹ هزار میلیون کیلومتر مکعب بوده و در حدود ۷۰ درصد سطح کره زمین از آب پوشیده شده است. دریاها و اقیانوس‌ها (آب‌های شور) تقریباً ۹۶/۵ درصد از آب موجود در زمین را به خود اختصاص داده و مابقی به‌صورت آب شیرین موجود می‌باشد. از این میزان آب شیرین، تنها ۳ درصد آن به‌صورت آب‌های سطحی و زیرزمینی بوده که می‌تواند در دسترس انسان قرار بگیرد (۲۷). در گذشته به علت رشد پایین جمعیت، طبیعت بر انسان حاکم بود اما با گسترش علوم پزشکی و پیشرفت تکنولوژی نرخ رشد جمعیت افزایش یافته به‌طوری که از نرخ رشد منابع طبیعی فزونی یافته است و به اصطلاح محیط‌شناسی، انسان‌ها زمین را تسخیر کرده‌اند (۵۶). رشد جمعیت به همراه تلاش به منظور افزایش سطح استاندارد زندگی آثار زیانباری بر محیط زیست طبیعی وارد می‌کند. فعالیت‌های اقتصادی طیف وسیعی از آسیب‌های محیط زیستی نظیر از بین رفتن جنگل‌ها، کاهش حاصلخیزی زمین‌ها، از بین رفتن خاک، بیابان‌زایی، آلودگی منابع آب

سطحی و زیرزمینی و آلودگی هوا را به همراه دارد. اگرچه طبیعت خود قابلیت مقابله با این تغییرات را دارد اما ظرفیت اکوسیستم برای پذیرش تغییرات محیط زیست محدود می‌باشد. امروزه چنین به نظر می‌رسد که سرعت بازسازی طبیعی با ابعاد تخریب‌ها هماهنگ نیست و در نتیجه فرایند تخریب محیط به شکل غیرقابل برگشتی در حال پیش‌روی است. بنابراین، لازم است به هنگام اجرای فعالیت‌های اقتصادی به بعُد محیط‌زیستی آنها نیز توجه شود؛ به عبارت دیگر، هر فعالیتی باید دارای توجیه محیط‌زیستی باشد. به همین دلیل، بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست از اهمیت زیادی برخوردار است. دو دیدگاه در خصوص رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست وجود دارد. عده‌ای از پژوهشگران معتقدند بین رشد اقتصادی و معیارهای حفاظت از محیط زیست یک رابطه مستقیم وجود دارد (۱۲و ۱۴). در مقابل، گروه دیگری از پژوهشگران وجود دارند که بر این باورند رابطه بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست نوعی رابطه U شکل وارونه است که به منحنی محیط زیستی کوزنتس[5] (EKC) معروف است. در سال ۱۹۹۵ نخستین‌بار اقتصاددانی به نام سیمون کوزنتس به بررسی رابطه بین آلودگی و رشد اقتصادی پرداخت. وی با بررسی داده‌های تجربی موفق به استخراج منحنی U شکل معکوس بین نابرابری درآمد و رشد اقتصادی دست یافت که از آن زمان به افتخار وی منحنی محیط‌زیستی کوزنتس نامیده شد. این منحنی بیان می‌دارد که بین آلودگی محیط زیست و رشد اقتصادی رابطه وجود دارد (۲۱) که این رابطه ممکن است U شکل، U معکوس، N شکل، N معکوس و یا حتی خطی باشد (۲۰). براساس فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس، رشد اقتصادی همواره منجر به تخریب محیط زیست نمی‌شود (۵) و کشورها می‌توانند مشکلات محیط‌زیستی خود را با تأکید بر رشد اقتصادی حل نمایند. سطحی از درآمد وجود دارد که اگر جامعه به آن برسد، کیفیت محیط زیست، هم‌زمان با افزایش درآمد، بهبود خواهد یافت؛ این بهبود یا ناشی از تغییر در روش تولید یا ناشی از تغییر در سبک مصرف می‌باشد. با فرض درستی این تئوری، رسیدن به سطح استاندارد زندگی و محیط‌زیستی تمیز و

5. Environmental Kuznets Curve (EKC)

پاکیزه امکان‌پذیر می‌شود (۳۵). اهمیت این فرضیه در این است که رشد اقتصادی وسیله‌ای برای حمایت از محیط زیست فراهم می‌کند، نه آنکه رشد اقتصادی منجر به تخریب محیط زیست شود (۴). رابطه بین رشد اقتصادی و آلودگی محیط زیست با توجه به تعداد عوامل موجود بسیار پیچیده‌تر می‌شود. این عوامل شامل اندازه اقتصاد، ساختار صنعتی، غلظت آلودگی، تکنولوژی، تقاضای کیفیت محیط، سطح محافظت از محیط زیست و تجارب بین‌المللی می‌باشد که تمام این عوامل به هم وابسته‌اند (۲۶). موضوع آب و آلودگی آن از موضوعات بسیار مهم در قرن حاضر محسوب می‌شود (۷). آلودگی آب یک مشکل بزرگ جهانی است که به ارزیابی مداوم و تجدید نظر در سیاست منابع آبی در همه سطوح احتیاج دارد. این آلودگی از تخلیه پسماندها و فاضلاب‌های ناشی از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و خانگی در منابع آب به وجود می‌آید که پیامدهای آن به‌صورت انواع بیماری و افزایش مرگ و میر بروز می‌کند (۴۴ و ۵۷). آلودگی آب به‌عنوان یکی از معیارهای آلودگی محیط زیست عموماً توسط شاخص‌های BOD[۶] و COD[۷] اندازه‌گیری می‌شود. آژانس آلودگی محیط زیست، BOD را میزان اکسیژنی بیان می‌کند که باکتری‌های آب در هنگام تجزیه زباله‌ها مصرف می‌کنند (HAWQS)[۸]. آلودگی بیش از حد منابع آبی اکسیژن مورد نیاز آبزیان را کاهش می‌دهد. سطوح پایین اکسیژن حل شده در آب می‌تواند بر سلامت آبزیان و اکوسیستم تأثیر بگذارد (۲۳).

رودخانه‌ها در طول مسیر خود دارای سرشاخه‌های متعددی بوده و همچنین ضمن عبور از شهرها و روستاهای موجود در مسیر، پساب‌ها و مواد آلوده‌کننده زیادی به درونشان وارد می‌شود(۵۴). با ورود مواد آلی قابل‌تجزیه به آب‌های سطحی، این مواد به وسیله میکروارگانسیم‌ها به‌ویژه باکتری‌ها مورد حمله قرار می‌گیرند و به ترکیبات معدنی تبدیل

6. Biological Oxygen Demand (BOD)
7. Chemical Oxygen Demand (COD)
8. Hydrologic and Water Quality System (A National Water and Water Quality Assessment tool)

می‌شوند. اگر روند تجزیه و تبدیل در شرایط هوازی و با حضور اکسیژن انجام گیرد، مواد مستقل و پایداری نظیر اکسیدکربن، سولفات و نیترات تولید می‌شود. اما در شرایطی که اکسیژن کافی برای تجزیه فراهم نباشد، روند تجزیه به صورت بی‌هوازی ادامه می‌یابد. در این حالت، گونه‌های میکروارگانیسم فعال با گونه‌های فعال در شرایط هوازی کاملاً متفاوت بوده و محصول نهایی تجزیه بی‌هوازی شامل ترکیبات آلی ناپایدار و موادی همچون H2S، NH3 و CH4 است (۱۹). اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی یا بیولوژیکی یا همان BOD، به مقدار اکسیژنی اطلاق می‌شود که میکروارگانیسم‌ها به منظور تجزیه هوازی مواد آلی به آن نیاز دارند. اندازه‌گیری مقدار کل اکسیژن موردنیاز برای تجزیه یک ترکیب آلی حداقل به یک دوره ۵روزه نیاز دارد. از آنجا که مدت زمان انجام این آزمایش طولانی بوده، با تعیین رابطه‌ای خطی بین COD و BOD و تعیین ضریب ثابتی بین آنها در هر ایستگاه نمونه‌برداری، مقادیر BOD را می‌توان در آزمایشات بعدی برآورد نمود. لازم به ذکر است که COD یا اکسیژن‌خواهی شیمیایی، مقدار اکسیژنی است که برای اکسیداسیون شیمیایی فاضلاب موردنیاز می‌باشد. این آزمایش ظرف مدت چند ساعت قابل اندازه‌گیری است و می‌توان با داشتن مقادیر آن، در روند آزمایشات بعدی سرعت بخشید. با توجه به اینکه BOD به‌طور نسبی یکی از مهم‌ترین شاخصه‌های اندازه‌گیری آلودگی آب به وسیله مواد آلی است (۱۹)، لذا در تحقیق حاضر نیز BOD به عنوان شاخص اصلی آلودگی آب شهری و صنعتی مطرح شده است.

استان مازندران با توجه به شرایط توپوگرافی و ویژگی‌های طبیعی آن از حیث آب‌های سطحی و زیرزمینی بسیار غنی می‌باشد و هرچه از غرب به طرف شرق استان پیش برویم، منابع آب کمتر و محدودتر می‌شود (۴۸). همچنین علی‌رغم باران‌خیز بودن منطقه، خشکسالی‌های اخیر موجب کاهش سطح سفره‌های زیرزمینی شده است (۳۷). این استان به علت وضعیت خاص اقلیمی و آب و هوایی دارای رودهای متعددی می‌باشد که مهم‌ترین آنها عبارت اند از: رودخانه هراز، بابل‌رود، سیاهرود، رودخانه تجن، سردآبرود، تنکابن و چالوس. علی‌رغم وجود منابع آب سطحی و زیرزمینی فراوان در این استان، این منابع با چالش‌های فراوانی مواجه هستند

که از آن جمله می‌توان به بهره‌وری پایین، کاهش کیفیت، آلودگی و پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی اشاره نمود (۴۸). همچنین ورود فاضلاب به سفره‌های آب زیرزمینی، رودخانه‌ها و دریا از مشکلات اساسی و محیط‌زیستی استان به حساب می‌آید (۳۷). در اکثر مناطق استان مازندران به دلیل بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی و شرایط محیطی، احتمال آلوده شده منابع به آلودگی‌های انگلی بسیار زیاد است (۶۰). نتایج مطالعه ضیائی و همکاران (۶۰) حاکی از آلوده بودن آب‌های سطحی و زیرزمینی در برخی از مناطق به ویژه شهرستان بابلسر بوده است.

میزان تولید ناخالص داخلی استان مازندران تقریباً ۲۶۰ میلیارد ریال در سال بوده که ۴/۴ درصد از تولید ناخالص داخلی ایران را به خود اختصاص داده است. همچنین بر اساس آمار منتشره توسط مرکز آمار، جمعیت استان مازندران در ۱۳۹۵ معادل ۱/۶۳ میلیون نفر بوده که ۴/۱۳ درصد از کل جمعیت ایران را تشکیل می‌دهد. با توجه به اینکه میزان جمعیت و حجم فعالیت‌های اقتصادی می‌تواند نقش مهمی در آلودگی آب ایفا نماید، لذا در این مطالعه فرضیه منحنی محیط‌زیستی کوزنتس برای ۷ رودخانه مهم این استان براساس داده‌های شهرهای استان طی سال‌های ۱۳۹۳-۱۳۸۰ بررسی شد.

در ایران، اغلب مطالعات آزمون فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس در مورد آلودگی هوا بوده و مطالعات بسیار اندکی به بررسی آلودگی آب و رابطه آن با رشد اقتصادی پرداخته‌اند. همچنین در مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه، بیشتر از داده‌های کشوری و یا استانی (نه شهرستانی) برای آزمون فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس استفاده شده است. با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تعداد واحدهای صنعتی استان مازندران، در این مطالعه اثرات رشد اقتصادی و افزایش جمعیت شهری شهرستان‌های استان مازندران بر آلودگی رودخانه‌های مهم استان بررسی شد.

مبانی نظری تحقیق

طی سال‌های اخیر، مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور در زمینه بررسی رابطه بین آلودگی و رشد اقتصادی براساس فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس انجام شده است[۹]. معمولاً در این مطالعات از تولید ناخالص داخلی (GDP) به عنوان معیار رشد اقتصادی و از میزان یک آلاینده (برای مثال میزان انتشار گاز دی اکسید کربن) به عنوان معیار آلودگی محیط زیست استفاده شده است. اما مطالعات اندکی در خصوص بررسی رابطه بین آلودگی آب و رشد اقتصادی انجام گرفته[۱۰] که در این مطالعات معمولاً میزان اکسیژن‌خواهی آب (BOD) به عنوان معیار آلودگی آب و تخریب کیفیت محیط زیست‌آبی استفاده شده است.

بررسی‌ها معمولاً نشان می دهند که در کشورهای توسعه‌یافته رابطه بین آلودگی آب و معیارهای رشد اقتصادی (همانند: درآمد سرانه و یا تولید ناخالص داخلی) منفی بوده و با افزایش رشد اقتصادی و درآمد سرانه در این کشورها، سطح آلودگی آب کاهش و کیفیت آب بهبود یافته است (۷،۲،۵۰،۳۲،۵۴،۵۵) ؛ در حالی‌که در کشورهای در حال توسعه رابطه بین آلودگی آب و معیارهای رشد اقتصادی مثبت بوده و با افزایش رشد اقتصادی و درآمد سرانه در این کشورها، سطح آلودگی آب افزایش یافته است (۷، ۲،۵۰،۵۹). البته تعداد کمی از مطالعات[۱۱] عکس این نتایج یعنی عدم تأیید فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس در گروه کشورهای توسعه‌یافته و تأیید این فرضیه در کشورهای در حال توسعه را به دست آوردند به طوری‌که ارتباط میان معیار رشد اقتصادی و آلودگی منابع آب در کشورهای توسعه‌یافته به شکل U و در

۹. مانند مطالعهٔ درگاهی و بهرامی غلامی (۲۲)، حسینی‌نسب و پایکاری (۳۱)، صادقی (۴۶)، امیرنژاد و اسدپور کردی (۵)، تمیزی (۵۱)، فیروز زارع و شاهنوشی (۲۵)، ازوکو و آزدمیر (۴۱)، پائودل (۴۲)، کاتز (۳۴)، وونگ و لوییز (۵۸)، اوربو و اموتور (۴۰)، هالکوس و همکاران (۲۹)، پائودل و همکاران (۴۳) و باروآ هوباک (۱۳)

۱۰. مانند مطالعهٔ ارباب و عباسی‌فر (۷)، علیشیری و همکاران (۲)، شا و همکاران (۵۰)، آیمن (۳۲)، تامپسون (۵۴)، یانگ (۵۹) و تامپسون و جفرد (۵۵)

۱۱. مانند مطالعهٔ بی‌آبی و همکاران (۱۶)، علیشیری و همکاران (۲)

کشورهای در حال توسعه به شکل U معکوس است. همچنین برخی از مطالعات همانند ازوکو و آزدمیر (۴۱) نشان می دهند که فرضیه محیط‌زیستی کوزنتس برای هر دو گروه کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه صادق نبوده به طوری که تخریب محیط‌زیستی به طور خودبه‌خودی با رشد اقتصادی رفع نخواهد شد. بررسی مطالعات انجام شده در این زمینه[۱۲] نشان می‌دهد که علاوه بر متغیر تولید ناخالص داخلی (GDP)، متغیر جمعیت نیز می‌تواند به عنوان یک متغیر برون‌زا بر کیفیت آب و کیفیت محیط زیست آبی تأثیرگذار باشد و به عبارتی، اثر مثبت بر آلودگی آب داشته باشد.

در همین راستا، این مطالعه صحت فرضیه محیط زیستی کوزنتس در مورد ۷ رودخانه مهم استان مازندران (هراز، بابل‌رود، سیاهرود، تجن، سردآبرود، تنکابن و چالوس) و چگونگی تأثیر افزایش جمعیت شهری و تعداد واحدهای صنعتی بر کیفیت آب‌های سطحی استان را بررسی کرد. با مروری بر مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که در ایران پژوهش‌های اندکی در زمینه بررسی فرضیه محیط زیستی کوزنتس و شاخص آلودگی آب انجام گرفته و بیشتر مطالعات در مورد بررسی فرضیه محیط زیستی کوزنتس و آلودگی هوا بوده است. از سوی دیگر، علی‌رغم اهمیت منابع آب در ایران نمی‌توان مطالعه‌ای یافت که به‌صورت موردی به بررسی رابطه آلودگی آب شهرهای کشور و رشد اقتصادی پرداخته باشد و بیشتر، فرضیه محیط زیستی کوزنتس برای ایران در گروه کشورهای در حال توسعه مورد مطالعه قرار گرفته است. اما در این مطالعه گسترش واحدهای صنعتی همراه با افزایش تولید ناخالص داخلی به عنوان شاخص رشد اقتصادی در نظر گرفته شده است.

۱۲. مانند مطالعهٔ ارباب و عباسی‌فر (۷)، علیشیری و همکاران (۲) و صادقی (۴۶)

روش پژوهش

بررسی مطالعات تجربی در خصوص فرضیه کوزنتس نشان می‌دهد معمولاً برای تعیین روابط ممکن میان آلودگی محیط زیست و درآمد، رابطه ۱ به صورت لگاریتمی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۳۹):

$$Y_t = \alpha + \beta_1 x_t^2 + \beta_2 x_t^2 + \beta_3 x_t^3 + \beta_4 Z_t + \varepsilon_t \qquad K=1,2,\ldots 4 \qquad (۱)$$

که در آن Y شاخص محیط زیستی، x درآمد و z متغیرهای دیگری است که باعث تخریب محیط زیست می‌شود. همچنین t به زمان، α به ضریب ثابت و β_k به ضریب kامین متغیر توضیحی (k: 1, …, 4) اشاره دارد. شکل منحنی محیط زیستی کوزنتس به علامت پارامتر متغیرهای درجه اول، دوم و سوم تولید ناخالص داخلی مدل ۱ بستگی دارد به‌طوری که اگر $\beta_1 = \beta_2 = \beta_3$ باشد، هیچ رابطه‌ای میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود ندارد. اگر $\beta_1 > 0$ و $\beta_2 = \beta_3 = 0$ باشد، یک رابطه یکنواخت افزایشی یا رابطه خطی میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود دارد. اگر $\beta_1 < 0$ و $\beta_2 = \beta_3 = 0$ باشد، یک رابطه یکنواخت کاهشی میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود دارد. اگر $\beta_1 > 0$ و $\beta_2 < 0$ و $\beta_3 = 0$ باشد، یک رابطه U معکوس میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود دارد و انتظار می‌رود که در یک نقطه بحرانی (نقطه بازگشت) روند انتشار آلاینده‌ها تغییر یابد که این نقطه برای شاخص‌های محیط زیستی و یا آلاینده‌های متفاوت، فرق می‌کند. نقطه بازگشت درآمدی در نقطه $Y^* = \beta_1/2\beta_2$ به دست می‌آید. اگر $\beta_1 < 0$ و $\beta_2 > 0$ و $\beta_3 = 0$ باشد، یک رابطه U شکل میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود دارد. منحنی به دست آمده در این حالت عکس روال معمول نظریه منحنی محیط زیستی کوزنتس است. اگر $\beta_1 > 0$ و $\beta_2 < 0$ و $\beta_3 > 0$ باشد، یک چندجمله‌ای از درجه سه و یک رابطه N شکل میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود دارد. در این حالت، ابتدا با رشد اقتصادی انتشار آلاینده افزایش می‌یابد، در مرحله دوم با افزایش رشد اقتصادی انتشار آلاینده کاهش می‌یابد و در مرحله سوم مانند مرحله اول، با افزایش رشد اقتصادی انتشار آلاینده نیز افزایش می‌یابد. در این‌حالت، نقاط

حداکثر و حداقل منحنی از رابطه ۲ به دست می‌آید و نوع نقطه، که حداکثر یا حداقل است، با استفاده از تعیین علامت امکان‌پذیر می‌باشد:

$$GDP^* = \frac{-\beta_2 \pm \sqrt{\beta_2^2 - 3\beta_1\beta_3}}{3\beta_3} \qquad (۲)$$

اگر $\beta_1 < 0$ و $\beta_2 > 0$ و $\beta_3 < 0$ باشد، یک رابطه N معکوس میان تولید ناخالص داخلی و آلودگی آب وجود دارد. البته شکل منحنی محیط زیستی کوزنتس (EKC) علاوه بر علامت پارامتر متغیرهای مدل ۱ به معنی‌داری ضرایب نیز بستگی دارد (۴۹).

روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM)

شکل کلی یک الگوی پویا در داده‌های تابلویی به صورت رابطه ۳ می‌باشد:

$$Y_{it} = \alpha Y_{it-1} + \beta X'_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \qquad (۳)$$

که در آن، Y_{it} متغیر وابسته، X'_{it} بردارهای مستقل که با عنوان متغیرهای ابزاری نیز به‌کار می‌روند، μ_i عامل خطای مربوط به مقاطع و ε_{it} عامل خطای مقطع i ام در زمان t است. هنگامی‌که در مدل داده‌های تابلویی، متغیر وابسته به‌صورت باوقفه در طرف راست ظاهر می‌شود، دیگر برآوردگرهای حداقل مربعات معمولی (OLS) سازگار نبوده (۸) و باید به روش‌های برآورد حداقل مربعات دو مرحله‌ای (2SLS) اندرسون و هسیائو (۶) یا گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) آرلانو و باند (۸) متوسل شد. به گفته ماتیاس و سوسترس (۱۹۹۱)، برآوردکننده 2SLS ممکن است به‌دلیل مشکل در انتخاب ابزارها، واریانس‌های بزرگ برای ضرایب به‌دست دهد و برآوردها به لحاظ آماری معنی‌دار نباشند (۵۳). بنابراین، روش GMM دو مرحله‌ای توسط آرلانو و باند (۸) برای حل این مشکل پیشنهاد شده است که در این روش از تفاضل متغیرها جهت ساخت ابزارها در GMM برای معادله سطح (رابطه ۳) استفاده می‌شود. در روش GMM ارائه شدهٔ‌آرلانو و باند (۸)، از وقفه متغیر وابسته به‌عنوان ابزار استفاده می‌شود (GMM دیفرانسیلی)، اما بلوندل و باند (۱۷) نشان داده‌اند که وقفه متغیرها در سطح، ابزارهای

ضعیفی برای معادله رگرسیونی در تفاضل هستند. برای رفع این مشکل، بلوندل و باند (۱۷) برآوردکننده گشتاورهای سیستمی را پیشنهاد کردند که در یک رگرسیون، رگرسیون در سطح را با رگرسیون در تفاضل‌ها ترکیب می‌کند. سازگاری برآوردکننده GMM براساس فروضی که بر پایه درستی آنها بنا شده است، به معتبربودن فرض نبود همبستگی سریالی جملات خطا و ابزارها بستگی دارد که می‌تواند به‌وسیله دو آزمون تصریح شده توسط آرلانو و باند (۸)، آرلانو و بوور (۹) و بلوندل و باند (۱۷) آزمون شود. اولی آزمون سارگان از محدودیت‌های از پیش تعیین‌شده است که معتبر بودن ابزارها را می‌آزماید. آماره آزمون سارگان (J-statistic) دارای توزیع χ^2 با درجات آزادی برابر با تعداد محدودیت‌های بیش از حد است. دومی آزمون همبستگی سریالی است که به‌وسیله آماره M_2 وجود همبستگی سریالی مرتبه دوم یا AR(2) در جملات خطای تفاضلی مرتبه اول را می‌آزماید. در این آزمون، برآوردکننده GMM زمانی دارای سازگاری است که همبستگی سریالی مرتبه دوم در جملات خطا از معادله تفاضلی مرتبه اول وجود نداشته باشد. رد نشدن فرضیه صفر هر دو آزمون شواهدی را دال بر فرض نبود همبستگی سریالی و معتبر بودن ابزارها فراهم می‌کند. از آنجا که در روش GMM، تفاضل‌گیری از معادله اولیه، همبستگی غیرقابل اغماضی را بین وقفه متغیر وابسته و جزء خطای تبدیل شده فراهم می‌آورد (۱۸) و با توجه به اینکه سازگاری این برآوردکننده براساس فرض نبود همبستگی جملات خطا استوار است، انجام آزمون AR(2) بسیار مهم است (۳). برای دستیابی به هدف پژوهش (بررسی رابطه میان رشد اقتصادی و آلودگی آب)، از یک مدل پایه فرضیه کوزنتس محیط زیستی با افزودن متغیرهای جمعیت شهرنشینی و تعداد واحدهای صنعتی استفاده شد. به‌منظور برآورد مدل، از میان انواع فرم‌های تبعی، مدل لگاریتمی (رابطه ۴) به عنوان بهترین مدل انتخاب شد. استفاده از مدل لگاریتمی موجب کاهش انحراف داده‌ها و کوچک‌ترشدن دامنه تغییرات می‌شود. همچنین ضرایب مدل لگاریتمی به‌صورت کشش است که موجب سهولت در تفسیر نتایج می‌گردد:

$$\log BOD_t = \beta_0 + \beta_1 logGDP + \beta_2 \log GDP_t^2 + \beta_3 logGDP_t^3 + \beta_4 logURB + \beta_4 \log INDU \quad (۴)$$

که در آن BOD میزان اکسیژن‌خواهی بیولوژیکی است که به‌عنوان شاخص آلودگی آب در منحنی محیط زیستی کوزنتس به‌کارگرفته می‌شود و واحد آن میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. همچنین GDP تولید ناخالص داخلی حقیقی به قیمت ثابت سال ۱۳۸۳ و GDP^2 مجذور تولید ناخالص داخلی حقیقی و GDP^3 مکعب تولید ناخالص داخلی حقیقی، URB جمعیت شهرنشینی (نفر)، INDU تعداد واحدهای صنعتی می‌باشد.

این مطالعه با استفاده از داده‌های پانل با مقاطع ۷ شهرستان آمل، بابل، قائمشهر، ساری، تنکابن، چالوس، کلاردشت و در دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۰ انجام گرفت. از شاخص BOD به عنوان شاخص آلودگی آب و از تولید ناخالص داخلی به‌عنوان شاخص رشد اقتصادی استفاده شد. همچنین جمعیت شهرنشینی و تعداد واحدهای صنعتی نیز به عنوان عوامل آلاینده وارد مدل شدند.

داده‌های مربوط به متغیر آلودگی آب از اداره کل حفاظت محیط زیست استان مازندران و داده‌های مربوط به متغیرهای تولید ناخالص استان مازندران، جمعیت شهرنشینی و تعداد واحدهای صنعتی شهرستان‌های استان از سالنامه‌های آماری و داده‌های آماری مرکز آمار ایران اخذ گردید. به‌منظور انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری و برآوردهای اقتصادسنجی از نرم‌افزار Eviews 9 استفاده شد.

نتایج و بحث

پیش از برآورد مدل، ابتدا ویژگی‌های آماری متغیرهای مطالعه بررسی شده که نتایج در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. توصیف آماری متغیرهای مطالعه

ردیف	شهرستان	نام رودخانه	نام متغیر	میانگین	میانه	انحراف معیار	کمینه	بیشینه
۱	آمل و فریدونکنار	هراز	شاخص آلودگی آب	۳۷/۲۵	۳۰/۳۳	۲۵/۴۳	۷	۱۱۰/۳۳
			تولید ناخالص داخلی	$۱/۶۹*۱۰^{۱۳}$	$۱/۳۸*۱۰^{۱۳}$	$۱/۴۳*۱۰^{۱۳}$	$۲/۷۴*۱۰^{۱۲}$	$۵/۴۳*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۲۰۴۴۰۱	۲۰۶۳۸۰	۲۲۶۴۶	۱۳۶۵۱۸	۲۳۰۱۲۰
۲	بابل و بابلسر	بابلرود	شاخص آلودگی آب	۳۲/۷۵	۳۲/۶۷	۱۶/۳۷	۷/۵۳	۶۵/۳۳
			تولید ناخالص داخلی	$۲/۴۱*۱۰^{۱۳}$	$۱/۸۷*۱۰^{۱۳}$	$۱/۷۳*۱۰^{۱۳}$	$۵/۲۳*۱۰^{۱۲}$	$۶/۴۶*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۲۱۶۹۹۰	۲۱۳۶۵۲	۲۳۶۹۴	۱۹۱۵۲۶	۲۷۱۲۲۵
۳	قائمشهر و جویبار	سیاهرود	شاخص آلودگی آب	۴۶/۹	۳۸/۶۷	۳۰/۲۷	۱	۱۰۲
			تولید ناخالص داخلی	$۱/۶۱*۱۰^{۱۳}$	$۱/۱۳*۱۰^{۱۳}$	$۱/۴۲*۱۰^{۱۳}$	$۳/۱۸*۱۰^{۱۲}$	$۵/۴۸*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۱۷۱۸۱۳	۱۷۶۴۳۰	۴۷۴۲۷	۱۷۱۳۳	۲۱۱۱۳۰
۴	ساری	تجن	شاخص آلودگی آب	۴۱/۶۸	۳۸/۴۲	۲۳/۸۶	۹	۱۰۳/۶۷
			تولید ناخالص داخلی	$۲/۱۵*۱۰^{۱۳}$	$۱/۸۳*۱۰^{۱۳}$	$۱/۵۶*۱۰^{۱۳}$	$۱/۷۰*۱۰^{۱۲}$	$۵/۷۶*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۲۵۹۲۰۶	۲۷۲۵۱۸	۶۵۲۷۸	۳۹۰۰۴	۳۱۰۳۸۹
۵	تنکابن	چشمه کیله	شاخص آلودگی آب	۱۹/۹۲	۷/۳۲	۴۰/۲۳	۳/۳۳	۱۴۶/۸۵
			تولید ناخالص داخلی	$۸/۱۳*۱۰^{۱۲}$	$۷/۷۷*۱۰^{۱۲}$	$۵/۴۴*۱۰^{۱۲}$	$۲/۰۴*۱۰^{۱۲}$	$۲/۳۰*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۴۷۵۳۱	۴۴۹۷۲	۱۱۳۳۹	۳۶۴۶۶	۷۳۰۸۱
۶	چالوس	چالوس	شاخص آلودگی آب	۸/۲۷	۷/۷۹	۳/۳۲	۲/۹	۱۴/۹
			تولید ناخالص داخلی	$۵/۱۳*۱۰^{۱۲}$	$۴/۴۰*۱۰^{۱۲}$	$۴/۳۰*۱۰^{۱۲}$	$۴/۶۵*۱۰^{۱۰}$	$۱/۷۰*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۵۱۴۷۰	۴۷۶۵۶	۷۰۰۲	۴۵۱۷۸	۶۵۰۶۹
۷	کلاردشت	سردآبرود	شاخص آلودگی آب	۹/۲۷	۷/۹۵	۵/۴۱	۲/۷۷	۲۵/۲۲
			تولید ناخالص داخلی	$۵/۱۳*۱۰^{۱۲}$	$۴/۴۰*۱۰^{۱۲}$	$۴/۳۰*۱۰^{۱۲}$	$۴/۶۵*۱۰^{۱۰}$	$۱/۷۰*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۱۱۴۶۰	۱۱۹۹۹	۱۲۷۶	۸۶۴۸	۱۲۶۶۶
۸	مجموع		شاخص آلودگی آب	۲۸/۷۱	۲۲/۰	۲۷/۸۰	۱/۰۰	۱۴۶/۸۵
			تولید ناخالص داخلی	$۱/۳۹*۱۰^{۱۳}$	$۸/۶۶*۱۰^{۱۲}$	$۱/۴۱*۱۰^{۱۳}$	$۴/۶۶*۱۰^{۱۰}$	$۶/۴۷*۱۰^{۱۳}$
			جمعیت شهرنشینی	۱۴۴۵۱۵	۱۸۱۷۹۶	۹۶۳۶۸	۸۶۴۸	۳۱۰۳۸۹

مأخذ: یافته‌های تحقیق

همان طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، میانگین شاخص آلودگی آب برای رودخانه هراز ۳۷/۲۵، مقدار کمینه آن ۷ و مقدار بیشینه آن ۱۱۰/۳۳ میلی‌گرم بر لیتر در دوره

زمانی موردنظر بوده است. همچنین تولید ناخالص داخلی برای رودخانه هراز در دوره مورد بررسی به طور میانگین $۱/۶۹*۱۰^{۱۳}$ ریال و مقدار کمینه آن $۲/۷۴*۱۰^{۱۲}$ ریال و مقدار بیشینه آن $۵/۴۳*۱۰^{۱۳}$ ریال بوده است. میانگین جمعیت شهری رودخانه هراز -که شامل جمعیت شهرهای آمل و فریدونکنار می‌باشد- معادل ۲۰۴۴۰۱ نفر و کمینه جمعیت معادل ۱۳۶۵۱۸ نفر و مقدار بیشینه جمعیت در سال‌های مورد بررسی شامل ۲۳۰۱۲۰ نفر بوده است. ویژگی‌های آماری ذکرشده برای سایر رودخانه‌ها نیز به همین صورت تفسیر می‌گردد. لازم به ذکر است که رودخانه هراز از شهرهای آمل و فریدونکنار، بابلرود از شهرهای بابل و بابلسر و رودخانه سیاهرود از شهرهای قائمشهر و جویبار می‌گذرد و به همین دلیل مقادیر متغیرهای به کار گرفته شده برای این رودخانه‌ها به صورت تجمعی می‌باشد. به طور کلی، میانگین شاخص آلودگی آب برای رودخانه‌های منتخب استان مازندران برابر ۲۸/۷۱ میلی‌گرم بر لیتر با کمینه ۱ و بیشینه ۱۴۶/۸۵ میلی‌گرم بر لیتر در دوره زمانی مورد نظر بوده است. همچنین تولید ناخالص داخلی برای رودخانه‌های منتخب استان در دوره مورد بررسی به‌طور میانگین معادل $۱/۳۹*۱۰^{۱۳}$ ریال با کمینه $۴/۶۶*۱۰^{۱۰}$ و بیشینه $۶/۴۷*۱۰^{۱۳}$ ریال بوده است.

پس از بررسی ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد بررسی، برای جلوگیری از رگرسیون ساختگی، باید ابتدا از ایستا بودن متغیرها اطمینان حاصل کرد. به این منظور، با استفاده از آزمون‌های لوین، لین و چو (LLC)، آیم، پسران و شین (IPS)، دیکی فولر تعدیل‌یافته-فیشر (ADF-Fisher)، ایستایی متغیرهای مدل بررسی و نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲. نتایج آزمون ایستایی داده‌های پانل

متغیر	لوین-لین-چو	سطح معنیداری	آیم-پسران-شین	سطح معنیداری	دیکی‌فولر تعدیل یافته-فیشر	سطح معنیداری	وضعیت
BOD	-۳/۳۸۸۵	۰/۰۰۰۴	-۱/۵۹۱۰	۰/۰۵۵۸	۲۱/۹۷۸۲	۰/۰۷۹۱	ایستا در سطح
GDP	-۸/۲۲۸۳	۰/۰۰۰۰	-۴/۴۸۱۸	۰/۰۰۰۰	۴۷/۵۰۵۲	۰/۰۰۰۰	ایستا در سطح
GDP2	-۷/۴۳۳۵	۰/۰۰۰	-۳/۹۲۰۶	۰/۰۰۰۰	۴۳/۰۹۲۴	۰/۰۰۰۱	ایستا در سطح
GDP3	-۶/۷۷۱۳	۰/۰۰۰۰	-۳/۴۰۹۴	۰/۰۰۰۳	۳۹/۲۹۸۸	۰/۰۰۰۳	ایستا در سطح
URB	۱۴/۷۸۲۰	۱/۰۰۰۰	۲/۹۶۷۹	۰/۹۹۸۵	۲/۹۰۱۳	۰/۹۹۹۲	ناایستا در سطح
	۶۶/۳۶۳۹	۱/۰۰۰۰	-۲/۵۸۷۸	۰/۰۰۴۸	۳۴/۳۷۲۴	۰/۰۰۱۸	ایستا در تفاضل‌گیری مرتبه اول
INDU	۰/۳۴۳۰	۰/۶۳۴۲	-۰/۷۱۹۱۵	۰/۲۳۶۰	۱۶/۵۸۲۶	۰/۲۷۹۱	ناایستا در سطح
	۱/۰۸۰۹	۰/۸۶۰۱	-۰/۸۰۳۱	۰/۲۱۰۹	۲۳/۰۰۰۹	۰/۰۶۰۳	ایستا در تفاضل‌گیری مرتبه اول

مأخذ یافته‌های تحقیق

همان طور که از نتایج جدول ۲ مشخص است، به‌غیر از متغیرهای شهرنشینی و تعداد واحدهای صنعتی که در تفاضل مرتبه اول ایستا شدند، مابقی متغیرها در سطح ایستا هستند. تجزیه‌وتحلیل‌های هم‌انباشتگی پانلی، وجود رابطه بلندمدت را آزمون و سپس آنها را برآورد می‌کند. ایده اصلی در تجزیه‌وتحلیل هم‌انباشتگی این است که اگر بسیاری از سری‌های زمانی ناایستا و دارای روندهای تصادفی هستند، اما ممکن است ترکیب خطی متغیرها در بلندمدت، ایستا و بی‌روند باشد (اندرس، ۲۴). همانند سری‌های زمانی، بررسی وجود هم‌انباشتگی متغیرها در داده‌های پانلی نیز مهم است. آزمون‌های هم‌انباشتگی پانلی، در مقایسه با آزمون‌های هم‌انباشتگی برای هر مقطع به‌صورت جداگانه، دارای قدرت بیشتری هستند، زیرا این آزمون‌ها حتی در شرایطی که دوره زمانی کوتاه بوده و اندازه نمونه نیز کوچک باشد، قابل استفاده‌اند

(۱۰). به این دلیل، هم‌انباشتگی متغیرها و آزمون‌های آن در داده‌های پانلی موردبحث قرار می‌گیرد. به‌منظور بررسی هم‌انباشتگی از آزمون کائو[۱۳] (۳۳) استفاده شد. این آزمون با استفاده از آماره آزمون‌های ایستایی دیکی فولر (DF) و دیکی فولر تعمیم‌یافته (ADF) انجام می‌شود. در این آماره‌ها فرضیه صفر عدم وجود هم‌انباشتگی و فرضیه مخالف آن وجود هم‌انباشتگی بین متغیرهای مدل است. نتایج آزمون هم‌انباشتگی کائو در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. نتایج آزمون هم انباشتگی کائو، آزمون F لیمر و آزمون هاسمن

آماره آزمون	مقدار آماره	سطح معنیداری
آماره دیکی‌فولر	-۳/۸۱۷۸	۰/۰۰۰۱
F	۲۰/۶۹۴۹	۰/۰۰۲۱
کای دو	۱۹/۷۹۴۶	۰/۰۰۳۰

مأخذ: یافته‌های تحقیق

این نتایج نشان می‌دهد که فرضیه صفر مبنی بر نبود هم‌انباشتگی در سطح اطمینان ۹۹ درصد رد می‌شود. بنابراین، براساس آماره ADF آزمون کائو، هم‌انباشتگی بین متغیرهای مدل برقرار است. پس از اثبات وجود هم‌انباشتگی میان متغیرهای مدل، قبل از برآورد مدل، باید نوع داده‌ها از نظر پانل[۱۴] یا پولین[۱۵] بودن مشخص شود که بدین منظور از آزمون لیمر استفاده می‌شود که دارای آماره F لیمر است. بر اساس جدول ۳، سطح احتمال به‌دست آمده از نتایج از احتمال ۰/۰۵ کوچک‌تر بود و نشان‌دهنده پانل بودن داده‌ها می‌باشد. به‌منظور مشخص شدن نوع اثر داده‌های پانل، از آزمون هاسمن استفاده می‌شود. همان‌طور که نتایج آزمون هاسمن در جدول ۳ نشان می‌دهد، داده‌های مطالعه دارای اثرات ثابت می‌باشند. پس از مشخص شدن ثابت

۱۳. Kao Test

۱۴. Panel Data

۱۵. Pool Data

بودن اثرات، با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) مدل مورد نظر برآورد گردید که نتایج آن در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴. نتایج حاصل از تخمین برآورد مدل با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM)

متغیر	ضریب	خطای معیار	آماره t	سطح معنیداری
LBOD(-1)	۰/۶۱۶	۰/۲۸۸۵	۲/۱۳۸۰	۰/۰۳۷۰
LGDP	۱۰۸۶۵/۹۷	۲۷۵۹/۶۶۷	۳/۹۳۷۴	۰/۰۰۰۲
LGDP2	-۳۵۵/۷۰	۸۹/۴۳۴۶	-۳/۹۷۷۲	۰/۰۰۰۲
LGDP3	۳/۸۸۲	۰/۹۶۶۰	۴/۰۱۹۱	۰/۰۰۰۲
LURB	۱۵/۷۲۴۴	۲/۱۳۶۷	۷/۳۵۸۹	۰/۰۰۰۰
LINDU	۰/۳۷۰۵	۰/۰۷۱۷	۵/۱۶۲۳	۰/۰۰۰۰
AR(2)= -۰/۰۱۶۲	AR(1)=۰ /۰۹۲۴۳		Jstat= ۱/۸۷	
Prob= ۰/۹۸۷۰	Prob = ۰/۹۲۶۴		Prob(J-statistic)= ۰/۰۰۰۱	

مأخذ یافته‌های تحقیق

باتوجه به جدول ۴، کلیه متغیرها از نظر آماری معنی‌دار می‌باشند. شاخص آلودگی آب یا میزان اکسیژن خواهی (BOD) با متغیر شاخص آلودگی آب با یک وقفه ((۱-) BOD) رابطه مثبت، با متغیر شهرنشینی رابطه مثبت، با تولید ناخالص داخلی رابطه مثبت، با مجذور تولید ناخالص داخلی رابطه منفی و با مکعب تولید ناخالص داخلی رابطه مثبت دارد. آزمون سارگان[۱۶]، در مورد به کاربردن مناسب ابزارها در مدل به کار می‌رود؛ به بیان بهتر، بین متغیرهای ابزاری تعریف شده و اثرات ثابت یا انفرادی کشورها هیچ‌گونه همبستگی وجود ندارد. بنابراین، زمانی که سطح احتمال بزرگ‌تر از ۰/۰۵ باشد، فرض صفر مبنی بر مناسب بودن ابزارهای به‌کار رفته در مدل پذیرفته می‌شود که براساس نتایج جدول ۴، فرض صفر نشان‌دهنده مناسب بودن ابزارها می‌باشد. همچنین در آزمون خودهمبستگی سریالی آرلانو- باند، فرضیه صفر مبنی برعدم وجود خودهمبستگی در جملات اخلال تفاضل‌گیری شده رد نشده و بنابراین روش آرلانو- باند روشی مناسب برای برآورد پارامترهای مدل و حذف اثرات ثابت است. به

۱۶. Jstat

بیان دیگر، با یک مرتبه تفاضل‌گیری از جملات اخلال، همبستگی سریالی بین اجزای جملات اختلال رفع شده و جملات اخلال تفاضل‌گیری شده دارای خودهمبستگی مرتبه اول و دوم نیستند. بنابراین، تورش تصریح در مدل وجود ندارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

منحنی محیط زیستی کوزنتس یک رابطه تجربی برای نشان دادن ارتباط میان آلودگی‌های محیط زیستی و رشد اقتصادی است که در صورت تأیید تجربی آن می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش درآمد به تدریج آلودگی‌های محیط زیستی حاصل از مراحل رشد اقتصادی را پاک کرده و از شدت آن می‌کاهد. در این پژوهش وجود رابطه میان شاخص آلودگی آب (BOD) و تولید ناخالص داخلی، در داده‌های پانل و برای شهرستان‌های آمل، بابل، قائمشهر، ساری، تنکابن، چالوس، کلاردشت در استان مازندران بررسی شد.

به منظور تخمین مدل ابتدا ایستا بودن متغیرها، سپس هم‌انباشتگی بین متغیرها با استفاده از آزمون کائو بررسی شد. بررسی‌ها نشان داد بین متغیرهای مدل هم‌انباشتگی از مرتبه اول برقرار است. در نهایت، با استفاده از مدل گشتاورهای تعمیم‌یافته (GMM) رابطه بین متغیرها بررسی شد. با توجه به نتایج پژوهش، تأثیر مثبت و معنی‌دار تولید ناخالص داخلی بر آلودگی محیط زیست بیانگر این است که با افزایش روزافزون فعالیت‌های اقتصادی، استفاده از انرژی و منابع طبیعی و وارد کردن پسماندهای ناشی از فعالیت‌های صنعتی به محیط زیست موجب افزایش آلودگی و تخریب محیط زیست می‌شود. ضریب منفی مجذور تولید ناخالص در این دامنه، بیانگر وجود رابطه معکوس میان رشد اقتصادی و آلودگی‌های محیط زیستی (آلودگی آب) در استان مازندران است. رابطه معکوس به این معنی است که رشد اقتصادی همواره با افزایش آلودگی همراه نبوده و نشان‌دهنده کاهش سطح آلودگی آب به‌ازای هر واحد افزایش در تولید ناخالص داخلی می‌باشد. مثبت شدن ضریب مکعب تولید ناخالص داخلی بیانگر این واقعیت است که رابطه بین تولید ناخالص داخلی و آلودگی محیط زیست در استان مازندران به

صورت Nشکل است؛ به بیان دیگر، در سطوح پایین تولید ناخالص داخلی با افزایش تولید، فشارهای وارد بر محیط زیست افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به سطح مشخصی از درآمد، با افزایش فعالیت‌های اقتصادی و رشد تولید ناخالص داخلی به‌تدریج از فشارهای وارد بر محیط زیست کاسته می‌شود که می‌تواند علت آن را در استفاده از تکنولوژی‌های نوین در تولید، تغییر در نوع و ترکیب نهاده‌ها، وضع قوانین و مقررات محیط زیستی و افزایش آگاهی‌های عمومی نسبت به حفظ محیط زیست اشاره نمود، اما این رابطه منفی پایدار نبوده و در نهایت با گسترش بیش از حد فعالیت‌های اقتصادی مجدداً بر میزان فشارهای وارد بر محیط زیست و آلودگی آن افزوده می‌شود.

تأثیر مثبت و معنی‌دار تولید ناخالص داخلی بر سطح آلودگی علاوه بر سازگاری با مبانی نظری با مطالعات پژوهشگرانی چون علیشیری و همکاران (۲)، بهبودی و برزگری دین‌آباد (۱۵)، ارباب و عباسی‌فر (۷)، محمدباقری (۳۸)، یانگ (۵۹)، آیمن (۳۲)، شا و همکاران (۵۰)، تامپسون (۵۴)، عالم و همکاران (۱) و پائودل و همکاران (۴۳) سازگار است.

تأثیر منفی و معنی‌دار مجذور تولید ناخالص داخلی بر سطح آلودگی نیز با مبانی نظری سازگار بوده و همچنین با اکثر مطالعات به ویژه مطالعات بهبودی و برزگری (۱۵)، ارباب و عباسی‌فر (۷)، یانگ (۵۹)، آیمن (۳۲)، شا و همکاران (۵۰)، تامپسون (۵۴)، هالیچی اغلو (۲۸)، عالم و همکاران (۱) و پائودل و همکاران (۴۳)، تاسکین و زیم (۵۲) سازگار است. تأثیر مثبت و معنی‌دار مکعب تولید ناخالص داخلی بر آلودگی نیز با یافته های یانگ (۵۹)، پائودل و همکاران (۴۳) و باربیر (۱۱) سازگار است.

با ارزیابی نقاط برگشتی منحنی کوزنتس و نتایج حاصل از تخمین، می‌توان به این نتیجه رسید که آلودگی رودخانه‌های مازندران در فاصله زمانی ۱۳۸۲ و ۱۳۹۲ اتفاق افتاده است. همچنین نتایج حاصل از برآورد مدل نشان می‌دهد که متغیر وابسته با جمعیت شهرنشینی رابطه مثبت و معنی‌داری دارد؛ به عبارت دیگر، با افزایش یک درصدی جمعیت شهری، آلودگی آب به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد و افزایش شهرنشینی به‌شدت منجر به آلودگی

رودخانه‌های استان مازندران می‌گردد. تأثیر مثبت و معنی‌دار جمعیت بر فشارهای محیط زیستی با مطالعات ناپ و موکرجی (۳۶)، ساترتویت (۴۷) و کین و سیژ (۴۵) سازگار است. همچنین نتایج نشان داد که رابطه میان تعداد واحدهای صنعتی با آلودگی آب مثبت می‌باشد که مبین افزایش واحدهای صنعتی آلایندهٔ رودخانه‌های مازندران و نهایتاً دریای مازندران است. مثبت بودن متغیر آلودگی آب و تعداد واحدهای صنعتی می‌تواند نشان‌دهنده عدم رعایت موازین بهداشتی و محیط زیستی از سوی واحدهای صنعتی نیز باشد. در این راستا، پیشنهاد می‌شود تا اداره کل حفاظت محیط زیست نظارت بیشتری بر واحدهای صنعتی آلوده‌کننده داشته باشد.

شهرنشینی عامل مهمی در انتشار آلودگی است. همان‌گونه که از یافته‌های تحقیق برمی‌آید، افزایش جمعیت شهری نقش مؤثری درآلودگی آب دارد. بنابراین، توجه خاص به ساختار شهرنشینی می‌تواند راهکار قابل قبولی برای کنترل آلودگی شهرها باشد. افزایش سریع وسعت و جمعیت شهرها از یک طرف موجب تخلیه منابع آب زیرزمینی شده و از سوی دیگر تخلیه فاضلاب شهری آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی را به همراه دارد. لذا با توجه به موقعیت جغرافیایی استان مازندران و نزدیکی روستاها به شهرها، پیشنهاد می‌شود تا بر تجهیز و رونق هرچه بیشتر روستاها اهتمام شود تا از مهاجرت روستاییان به شهرها تا حد امکان جلوگیری گردد.

یکی از علل آلودگی آب‌های رودخانه‌های استان مازندران را می‌توان در استفاده بیش از حد از کودها و سموم شیمیایی دانست که منجر به آلودگی آن می‌شود که این خود به‌دلیل جایگاه ویژه استان مازندران در بخش کشاورزی در کشور است. لذا پیشنهاد می‌شود جهت مصرف بهینه کودها و سموم شیمیایی، نظارت و آموزش‌های لازم توسط اداره کل حفاظت محیط زیست و سازمان جهادکشاورزی انجام شود. مثبت شدن توان سوم تولید ناخالص داخلی نشان‌دهنده افزایش آلودگی آب همراه با رشد اقتصادی می‌باشد که لازم است در این زمینه دولت و نهادهای ذی‌ربط تصمیمات مؤثر را جهت جلوگیری از افزایش آلودگی اتخاذ نمایند.

منابع

1. Alam, S., Ambreen, F. and Butt, M. S. (2007). Sustainable development in Pakistan in the context of energy consumption demand and environmental degradation. *Journal of Asian Economics*, 18: 825-837.
2. Alishiri, H., Sajadifar, S. H. and Mohammadbagheri, A. (2017). Validity of the environmental Kuznets curve hypotheses in water pollution a case study. *Journal of Water and Wastewater*, 28(1):57-64. (Persian)
3. Alizadeh, M. and Golkhandan, A. (2015). Measuring the impact of the internet on trade in services. *Journal of Economic Development Policy*, 2(5):157-179. (Persian)
4. Amirnejad, H. and Ataie Solute, K. (2011). Economic valuation of environmental resources. Sari: Avaye Masih. (Persian)
5. Amirnejad, H. and Asadpour Kordi, M. (2014). The group examined the relationship between air pollution, GDP, energy intensity and openness in Iran (Applications of Environmental Kuznets hypothesis). *Journal of Agricultural Economics,* 8(3):117-132. (Persian).
6. Anderson, T.W. and Hsiao, C. (1981). Estimation of dynamic models with error components. *Journal of the American Statistical Association,* 76: 589-606.
7. Arbab, H. R. and Abbasifar, Z. (2012). Evaluation of the relation between water pollution and economic growth in developing countries and developed countries. *Journal of Iranian Energy Economics*, 1(3):1-16. (Persian)
8. Arellano, M. and Bond, S. (1991). Some test of specification for panel data: Monte Carlo evidence and application to employment equations. *Journal of Review of Economic Studies*, 58(2): 277-297.
9. Arellano, M. and Bover, O. (1995). Another look at the instrumental variable estimation of error components models. *Journal of Econometrics*, 68: 29-51.
10. Baltagi, B. H. (2005). Econometric analysis of panel data. New York: John Wiley & Sons Inc.
11. Barbier, E. B. (1997). Introduction to the environmental Kuznets curve special issue. *Environment and Development Economics*, 2: 369-381.
12. Bartlet, B. (1994). The high cost of turning green. *The Wall Street Journal*. Available at: https://www.academia.edu/1421033/The_high_cost_of_turning_green. (Jun.12, 2016)
13. Barua, A. and Hubacek, K. (2003). Water pollution and economic growth: an environmental Kuznets curve analysis at the watershed and state level.

Sustainability Research Institute, School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds LS2 9JT, UK.
14. Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: who's growth? whose environment?. *World Development*, 20(4): 481-496.
15. Behboudi, D. and Barzegarie Dinabad, E. (2015). An empirical analysis of environmental pressures of GDP in Iran. *Journal of Geography and Planning,* 19(54):43-60. (Persian)
16. Biabi, H., Mohammadi, H. and Abolhasani, L. (2014). Effect of selected economic factors affecting groundwater pollution in two groups of developed and developed countries. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 29(1):86-93. (Persian)
17. Blundell, R. and Bond, S. (1998). Initial conditions and moment restrictions in dynamic panel data models. *Journal of Econometrics*, 87(1): 115-143.
18. Bond, S. R. (2002). Dynamic panel models: a guide to micro data methods and practice. Institute for Fiscal Studies / Department of Economics, UCL, CEMMAP (Centre for Micro Data Methods and Practice) Working Paper No.CWPO9/02.
19. Bostanian, Gh., Maazed, H. and Saeghi Lari, A. (2009). Determination of linear relationship between BOD and COD in Zohreh River. The 2nd Environmental Engineering Conference and Exhibition, Tehran University. (Persian)
20. Canas, A., Ferrao, P. and Conceicao, P. (2003). A new environmental Kuznets curve? relationship between direct material input and income per capita: evidence from industrialized countries. *Ecological Economics*, 46(2): 217–229.
21. Chowdhury, R.R. and Moran, E.F. (2012). Turning the curve: a critical review of Kuznets approaches. *Applied Geography*, 32: 3–11.
22. Dargahi, H. and Bahrami Gholami, M. (2012). The GHGs emissions determinants in selected OECD and OPEC countries and the policy implications for Iran: (panel data approach). *Journal of Iranian Energy Economics,* 1(1): 73-99. (Persian)
23. Dizaji, M. and Gholaminejad Dizgah, S. (2012). Economic growth, human development and water pollution caused by economic activity in selected countries of the world. *Journal of Applied Economics*, 3(11):1-22. (Persian)
24. Enders, W. (2004). Applied econometric time series. New York: Wiley Press.
25. Firoozzare, A. and Shahnoushi, N. (2016). Application of multi-level modeling in analysis of environmental Kuznets curve: the case of 33

selected countries of four income groups. *Journal of Economy and Regional Development*, 22 (10):39-56. (Persian)
26. Ghazali, S. and Zibaei, M. (2009). Analysis and analysis of the relationship between environmental pollution and economic growth using consolidated data: case study of carbon monoxide pollutant. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 23(2):128-133.(Persian)
27. Gleick, P. H. (1993). Water in crisis, a guide to the world's fresh water resources. New York: Oxford University Press.
28. Halicioglu, F. (2009). An econometric study of co2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*, 37: 1156-1164.
29. Halkos, G., Tzeremes, E. and Nickolaos G. (2009). Analysis exploring the existence of Kuznets curve in countries' environmental efficiency using DEA window analysis. *Ecological Economics*, 68: 2168–2176.
30. HAWQS (Hydrologic and Water Quality System) Beta Webcast Schedule and Registration (2016). Available at https//www.epa.gov/waterdata/hawqshydrologic-and-water- quality -system (August 16, 2016).
31. Hosseini Nasab, S. E. and Paykari, S. (2012). study of economic growth and trade relaxation on the pollution of environment. *Economic Journal Bimonthly Journal of Economic Issues and Policies*, 12 (9 and 10):61-82.
32. Imen, T. (2012). Is there an EKC relevant to the industrial emission of water pollution for SEMC and EU countries?. *Environmental Management and Sustainable Development*, 1(1): 31-43.
33. Kao, C. (1999). Spurious regression and residual-based tests for co-integration in panel data. *Journal of Econometrics*, 90(1): 1- 44.
34. Katz, D. (2014). Water use and economic growth: reconsidering the environmental Kuznets curve (EKC) relationship. *Journal of Cleaner Production*, 88: 205-213.
35. Khoshakhlagh, R., Dalali Isfahani, R. and Yar Mohammadian, N. (2011). Environmental Kuznets curve analysis using the environmental quality process to choose household consumption basket. *Journal of Economic Modeling Research*, 2(6): 85-104. (Persian)
36. Knapp, T. and Mookerjee, R. (1996). Population growth and global CO2 emissions. *Energy Policy*, 24(1):31–7.
37. Mazandaran Province Rural Water and Wastewater Company. (2017). Available at http://www.abfa-mazandaran.ir
38. Mohammadbagheri, A. (2010). Study of short-term and long-term relationships between GDP, energy consumption and carbon dioxide emissions. *Journal of Energy Economics Studies*, 27(7):101-129. (Persian)

39. Nasrollahi, Z. and Ghafari Golak, M. (2010). The relationship between air pollution and economic growth in 28 provinces of Iran (the case study of co, so2 and nox). *Journal of Knowledge and Development*, 17(33):101-129. (Persian)
40. Orubo, O. C. and Omotor, D. G. (2011). Environmental quality and economic growth: searching for environmental Kuznets curves for air and water pollutants in Africa. *Energy Policy*, 39: 4178-4188.
41. Ozokcu, S. and Ozdemir, O. (2017). Economic growth, energy and environmental Kuznets curve. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 27: 639-647.
42. Paudel, K. P. (2014). Environmental Kuznets curve for water quality parameters at global level. PhD. Thesis, the Department of Agricultural Economics and Agribusiness at Louisiana State University Baton Rouge, Louisiana.
43. Paudel, K. P., Zapata, H. and Susanto, D. (2005). An empirical test of environmental Kuznets curve for water pollution. *Environmental and Resource Economics*, 31(3): 325-348.
44. Pink, D. H. (2006). Investing in tomorrow's liquid gold. Available at http://finance.yahoo.com/columnist/article/trenddesk/pp3748.
45. Qin, Z. and Xizhe, P. (2012). The impacts of population change on carbon emissions in China during 1978–2008. *Environmental Impact Assessment Review*, 36: 1–8.
46. Sadeghi, S. K., (2013). The investigation of relationship between co_2 emissions and water pollutant in Iran. *Environmental Economics Approach*, 13(43):209-227.
47. Satterwaite, D. (2008). Cities' contribution to global warming: notes on the allocation of greenhouse gas emissions. *Environment and Urbanization*, 20(2): 539-549
48. Shaeri, M. H. (2015). Head of the Agriculture Commission. Available at http://drshaeri.ir/?p=1050.
49. Shajari, H., Ostadi, H. and Kavousi, N. A. (2013). The role of international trade in environmental quality, case study: the Gulf States. *Journal of Management System*, 2(1):67-83. (Persian)
50. Shu, L., Fantang, Z., Huaiyang, F. and Zhencheng, X. (2012). An empirical test of the environmental Kuznets curve in Guangdong Province, China. *APCBEE Procedia*, 1: 204-209.

51. Tamizi, A. (2016). Determinants of co_2 emissions in developing countries using bayesian econometric approach. *Applied Theories of Economics*, 2 (4):145-168. (Persian)
52. Taskin, F. and Zaim, O. (2000). Searching for Kuznets curve in environmental efficiency using kernel estimation. *Economics Letters*, 68: 217-223.
53. Tayebi, S. K., Haji Karami, M. and Sariri, H. (2011). The effect of financial and trade openness on financial development: evidence from Iran and its trade partners (1996-2009). *Economic Development Research*, 1(4):39-60. (Persian)
54. Thompson, A. (2014). Environmental Kuznets curve for water pollution: the case of border countries. *Modern Economy*, 5(1): 66-69.
55. Thompson, A. and Jeffords, C. (2017). Virtual water and an EKC for water pollution. *Water Resources* Management, 31: 1061-1066.
56. Vitousek. P. M. and Ehrlich, P. R. (1989). Human appropriation of the products of photosynthesis. *Bioscience*, 36(6): 368-373.
57. West, L. (2006). World water day: a billion people worldwide lack safe drinking water. Available at http://environment.about.com/od/environmentalevents/a/waterdayqa.html.
58. Wong, Y. L. and Lewis, L. (2013).The disappearing environmental Kuznets curve: a study of water quality in the lower mekong basin (LMB). *Environmental Management*, 131: 415-425.
59. Yang, J. (2016). Heterogeneity analysis of the relationship between economic growth and water environmental pollution in Beijing. Tianjin and Zhengzhou of China. *Nature Environment & Pollution Technology*, 15(1): 51-58.
60. Ziaei Hezarjaribi, H., Yusefi, Z. and Mohammadpour Tahamtan, R. A. (2006). Parasitic contamination of wells drinking water in Mazandaran province (2002-2002). *Journal of Kermanshah University of Medical Sciences (BEHBOOD)*, 10(4):378-388. (Persian)