

## بررسی تاثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی در کشورهای منتخب

مژگان معلمی

استادیار اقتصاد دانشگاه پیام نور، moallemy\_m@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۹

### چکیده

امروزه مفهوم آب مجازی یکی از موضوعات مهم در مدیریت منابع آب است. اگرچه مطالعات زیادی در دنیا در این زمینه انجام یافته ولیکن به صورت کمی در ایران، کمتر به مفهوم آب مجازی توجه شده است. بحرانی شدن وضعیت منابع آب در مناطق کم‌آب جهان بویژه ایران اهمیت این مساله را افزایش داده است. نوآوری مقاله حاضر در محاسبه مقادیر آب مجازی به تفکیک کدهای طبقه‌بندی تجاری کالایی ۶ رقمی (SITC) برای کلیه بخش‌های اقتصادی در کشورهای منتخب (کشورهای حوزه خلیج فارس و کشورهای اروپایی) می‌باشد. به گونه‌ای که برای هر کد کالای صادراتی و وارداتی در کشورها، میزان آب مجازی که به صورت نامرئی مبادله می‌شود نیز محاسبه شده است. هدف مقاله حاضر آن است که با استفاده از مقادیر محاسبه شده آب نهفته در محصولات، تاثیر رشد درآمد سرانه را بر خالص واردات آب مجازی در کشورهای منتخب در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۲ برآورد نماید. بدین منظور با بهره‌گیری از روش داده‌های پانل، مدل اقتصادسنجی تخمین زده شده است. نتایج تخمین مدل نشان داد که مطابق با مبانی نظری، یک ارتباط U وارون بین رشد درآمد سرانه و رشد واردات آب مجازی وجود دارد به گونه‌ای که واردات آب مجازی در کشورهایی با درآمد سرانه پایین‌تر (کشورهای حوزه خلیج فارس) در مقایسه با سایر کشورهای مورد بررسی با رشد فزاینده‌ای مواجه است. بنابراین توصیه می‌شود در چنین کشورهایی محصولاتی با بهره‌وری بیشتر آب، جهت صادرات مدنظر قرار گرفته و واردات، بیشتر متکی بر محصولاتی با بهره‌وری آب کمتر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** واردات آب مجازی، درآمد سرانه، داده‌های پانل، کشورهای حوزه خلیج

فارس، کشورهای اروپایی.

طبقه‌بندی JEL: Q13, Q18, Q25.

### ۱- مقدمه

آب منبع حیاتی برای هر پدیده زیستی و انسانی است. با وجود تأثیر شگرف و مستقیمی که آب در پیدایش جوامع و از آن مهم‌تر، تمدن‌های بشری داشته اما به دلیل فراوانی آن، در بسیاری موارد انسان‌ها قدر این نعمت را ندانسته و با آن بصورت کالایی بی‌ارزش برخورد کرده‌اند. این قبیل اقدامات با صنعتی شدن جوامع، شدت بیشتری یافت. با گذشت زمان و افزایش جمعیت و رشد نیازهای انسان‌ها- که مهم‌ترین آنها تأمین غذا بود- این نگرش تغییر نمود تا جایی که آب به یک کالای اقتصادی تبدیل شد.

نیاز انسان به آب شیرین تنها در مصرف شرب نیست بلکه در کشاورزی و دامداری و بعدها در صنعت و شهرسازی و فضای سبز و غیره متجلی گردیده است. به گونه‌ای که امروزه مدیریت و حفاظت آب نه تنها در کشورهای در حال توسعه، بلکه در کشورهای توسعه یافته هم دارای اهمیت بالایی است. اما با افزایش روز افزون مصرف آب، تأمین آن در برخی مناطق از منابع آبی همان منطقه امکان‌پذیر نبوده و انتقال آب از حوزه‌های مجاور مطرح گردیده است. انتقال آب از حوزه‌های دیگر نیز در کنار صرف هزینه‌های زیاد، با مسائل سیاسی و اجتماعی مختلفی مواجه بود. تا جایی که در شرایط کنونی آب حتی از یک کالای اقتصادی نیز تغییر ماهیت داده و به کالایی استراتژیک تبدیل شده است.

امروزه، تجارت انواع کالاها به صورت نامرئی، تجارت آب را نیز به همراه دارد. با صادرات هر محصول کشاورزی و یا غیرکشاورزی- که در هر نقطه‌ای از جهان تولید می‌شود- در واقع میزان آبی که در مراحل تولید آن استفاده شده است، از کشور خارج می‌شود. از سوی دیگر، منطقه‌ای که آن کالا را وارد می‌کند در واقع همان میزان آب را، به صورت مجازی وارد کرده است (گاریدو و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۰). بدین ترتیب نگاه به مقوله آب با دیدگاه جدیدتری تحت عنوان «آب مجازی<sup>۲</sup>» مطرح می‌گردد.

انتظار می‌رود تجارت آب مجازی<sup>۳</sup>، مصرف آب را در سطح ملی و بین‌المللی به دلیل استفاده کارا تر و تخصصی‌تر از آب، کاهش دهد. اکثر متخصصان، مبادلات بین‌المللی محصولات غذایی را یکی از راه حل‌های اساسی در کنترل مصرف جهانی آب و در نهایت

<sup>1</sup> Garrido et al.

<sup>2</sup> Virtual Water

<sup>3</sup> Virtual Water Trade

صرفه‌جویی در مصرف آب می‌دانند. هوکسترا<sup>۱</sup> (۲۰۰۳) و هوکسترا و هانگ<sup>۲</sup> (۲۰۰۲) مبادله آب مجازی را راهی برای افزایش کارایی مصرف آب می‌دانند. از نقطه نظر اقتصادی، محصولاتی که مصرف آب بالایی دارند باید در نقاطی از جهان کشت شوند که به علت فراوانی آب در دسترس، قیمت آب در آنجا ارزان‌تر بوده است.

بر اساس تخمین هاناساکی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۰) حجم جهانی آب ذخیره شده (صرفه‌جویی شده) طی دوره زمانی ۹۹-۱۹۹۵ در اثر مبادلات مواد غذایی، حدود ۴۴۵ میلیارد مترمکعب در سال بوده که این رقم معادل ۸ درصد صرفه‌جویی در مصرف جهانی آب است.

از دهه ۹۰ میلادی، به منظور توضیح تأثیر رشد اقتصادی کشورها بر آلودگی محیط زیست، منحنی کوزنتس محیطی (EKC)<sup>۴</sup> مورد استفاده قرار گرفته است. EKC، وجود یک رابطه بین شاخص‌های کیفیت محیطی و درآمد سرانه را در نظر می‌گیرد که منحنی آن به شکل U وارونه است. به طور خاص، EKC ثابت می‌کند که در مراحل اولیه توسعه، با افزایش ثروت، کیفیت شاخص‌های زیست محیطی بدتر و بدتر می‌شود، زیرا درآمد بیشتر به انتشار بالاتر گازهای گلخانه‌ای می‌انجامد. در یک سطح خاص از درآمد سرانه، روند معکوس می‌شود. زیرا با افزایش بیشتر درآمد در مراحل بالاتر توسعه، آگاهی‌های زیست محیطی شهروندان افزایش می‌یابد. همین موضوع در خصوص رابطه میان درآمد سرانه و واردات آب مجازی نیز صادق است (میگلیتا، دی لئو و توما<sup>۵</sup>، ۲۰۱۶).

در این مقاله ابتدا میزان واردات و صادرات آب مجازی به تفکیک کد کالایی ۶ رقمی (SITC)<sup>۶</sup> برای کشورهای منتخب محاسبه می‌شود. سپس تأثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی در دو گروه کشورهای حوزه خلیج فارس و کشورهای اروپایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. دلیل انتخاب این دو گروه کشور در آن است که ناهمگنی درآمد بین این کشورها می‌تواند به خوبی واقعیت موجود در واردات آب مجازی را در این کشورها توضیح دهد. بر این اساس، انتخاب نمونه مورد نظر در این مقاله بر

<sup>1</sup> Hoekstra

<sup>2</sup> Hoekstra and Hung

<sup>3</sup> Hanasaki et al.

<sup>4</sup> Environmental Kuznets Curve

<sup>5</sup> Miglietta, De Leo and Toma

<sup>6</sup> Standard International Trade Classification

این اصل استوار است که طیفی از کشورها با سطوح مختلف درآمد سرانه را شامل شود تا بتوان به آزمون فرضیه ارتباط  $U$  و آرون بین رشد درآمد سرانه و خالص واردات آب مجازی پرداخت. علاوه بر این، شکل‌گیری مبادلات آب مجازی بین کشورها بیشتر متکی بر تفاوت شرایط اقلیمی بین کشورهای مختلف است. از این رو باید نمونه مورد بررسی به گونه‌ای انتخاب شود که کشورهای با اقلیم خشک و کشورهای پر آب را شامل گردد. بدین ترتیب، در مقاله حاضر، کشورهای منتخب شامل کشورهای حوزه خلیج فارس (با اقلیم خشک) و کشورهای اروپایی (به عنوان نمونه‌ای از کشورهای پر آب) در نظر گرفته شده است.

به منظور دستیابی به هدف مقاله، از مدل اقتصاد سنجی جهت برآورد تاثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی استفاده شده و با روش داده‌های پانل تخمین زده می‌شود.

از این رو، مقاله حاضر در شش بخش تهیه شده است. نخست با پرداختن به دو مفهوم «آب مجازی» و «تجارت آب مجازی» جایگاه این مفاهیم جدید در مدیریت و برنامه‌ریزی کلان حوزه منابع آب روشن می‌شود. مبانی نظری این مطالعه در خصوص ارتباط رشد درآمد سرانه با رشد خالص واردات آب مجازی در بخش سوم مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. به پیشینه تحقیق نیز در انتهای همین بخش پرداخته می‌شود. در بخش چهارم ضمن ارائه روش محاسبات مربوط به واردات و صادرات آب مجازی به تفکیک کد کالایی، مدل اقتصاد سنجی به منظور برآورد تاثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی در کشورهای حوزه خلیج فارس (از جمله ایران) و کشورهای منتخب اروپایی تصریح می‌گردد. در بخش پنجم به تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از تخمین پرداخته می‌شود. بخش پایانی نیز به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات اختصاص یافته است.

## ۲- مفهوم آب مجازی و تجارت آب مجازی

آب مجازی به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی بهره‌وری آب، مفهوم تازه‌ای است که نظر برنامه‌ریزان و صاحب‌نظران علوم آب را به خود جلب نموده و در سطوح مختلف منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی مورد توجه قرار گرفته است (اردکانیان و سهرابی<sup>۱</sup>، ۱۳۸۵).

<sup>۱</sup> Ardakaniyan and Sohrabi (2006)

آب مجازی به مقدار آبی گفته می‌شود که در طول فرایند تولید محصول، مورد استفاده قرار گرفته و به بیانی در محصول قرار می‌گیرد. بر این اساس تعاریف مختلفی از آب مجازی ارایه شده است.

اصطلاح آب مجازی اولین بار توسط آلن<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) به منظور اشاره به مقدار آب موجود و قابل دسترس در سیستم جهانی از طریق مبادله کالاهای مختلف، ارائه گردید. در این تعریف آب مجازی به مقدار آبی گفته می‌شود که یک کالا یا خدمت طی فرآیند تولید، مصرف می‌کند تا به مرحله تکامل برسد و مقدار آن معادل جمع کل آب مصرفی در مراحل مختلف زنجیره تولید از لحظه شروع تا پایان است. به طور ساده می‌توان آب مجازی را مقدار آبی تعریف کرد که برای تولید کالا مورد نیاز است.

صفت مجازی در این تعریف به آن معنا است که بخش عمده آب مصرف شده طی فرآیند تولید، در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد و در حقیقت بخش بسیار ناچیزی از آب مصرفی در پایان به عنوان آب واقعی در بافت محصول باقی خواهد ماند. آب مجازی پس از تولید یا فرآوری اگرچه میزان آب مصرفی را نشان می‌دهد ولی پس از تولید خیلی وجود حقیقی ندارد، بدین جهت بدان آب مجازی گفته می‌شود (اگرچه واقعاً مصرف شده و به عبارتی در آن نهفته است). باید توجه داشت که صفت مجازی به معنای غیرواقعی نیست، بلکه آب مجازی، حجم واقعی آبی است که در مراحل قبلی تولید به مصرف رسیده است.

هوکسترا در سال ۲۰۰۳ تعریف کامل‌تری از آب مجازی ارائه کرد. در این تعریف آب مجازی معادل جمع کل آب مورد نیاز برای تولید مقدار معینی از محصول (کالا)، با توجه به شرایط اقلیمی، مکانی، زمان و راندمان تولید می‌باشد. براساس تعریف اخیر، شرایط اقلیمی، مکان و زمان تولید، مدیریت و برنامه‌ریزی، فرهنگ و عادات مردم در میزان آب مجازی مؤثر می‌باشد. بدین ترتیب آب مجازی یک محصول مقداری ثابت نخواهد بود و بسته به منطقه‌ای که در آن تولید صورت می‌گیرد متفاوت می‌باشد.

این موضوع باعث شکل‌گیری مفهوم تجارت آب مجازی شده است. به گونه‌ای که متفاوت بودن میزان آب مجازی یک محصول در مناطق مختلف این ایده را شکل می‌دهد که اگر میزان آب مجازی یک محصول در منطقه ۱ کمتر از میزان آب مجازی همان محصول در منطقه ۲ باشد، لذا تولید آن محصول در منطقه ۱ و صادرات آن به منطقه ۲ می‌تواند

<sup>۱</sup> Allan

مصرف آب کمتری را به همراه داشته باشد. در این صورت جریان‌های ورودی و خروجی آب مجازی به همراه واردات و صادرات کالاها و خدمات مختلف در هر کشور شکل می‌گیرد. بدین ترتیب مفهوم «ردپای آب»<sup>۱</sup> نیز مطرح می‌گردد.

هوکسترا و چاپاگین<sup>۲</sup> (۲۰۰۷)، مفهوم ردپای آب و آب مجازی را به هم پیوند می‌دهند، چون اولین گام در تعیین ردپای آب هر کشور، محاسبه جریان‌های ورودی و خروجی آب مجازی آن کشور است. بنابر تعریف هوکسترا و چاپاگین ردپای آب، کل حجم آبی است که برای تولید کالاها یا خدمات مورد نیاز یک کشور مصرف می‌شود. از آنجا که، همه محصولات مصرفی ساکنان یک کشور در داخل کشور تولید نمی‌شود بنابراین ردپای آب شامل دو مولفه اصلی می‌باشد. مولفه اول شامل حجم آبی است که برای تولید کالا و خدمات مورد نیاز افراد جامعه از منابع آب داخلی کشور مصرف می‌شود. مولفه دوم شامل حجم آبی است که به واسطه مصرف منابع آبی سایر کشورها برای تولید کالاها و خدمات وارداتی به کشور مورد نظر مصرف می‌شود.

این امر، مفهوم مبادله آب مجازی را شکل می‌دهد. بر این اساس، کشورهای واردکننده، علاوه بر کالاها، آب مصرفی برای تولید آن کالاها را نیز دریافت می‌کنند. در مقابل، صادرات یک کشور علاوه بر خروج کالاها و خدمات از یک کشور به خروج آب مصرفی برای تولید آن کالاها و خدمات نیز منتهی می‌شود. بدین ترتیب در حین مبادله کالاها و خدمات در اقتصاد جهانی به صورت نامرئی، آب مجازی موجود در کالاها و خدمات نیز مبادله می‌گردد. هرچند این مساله در نگاه اول، ممکن است به کاهش فرصت‌های شغلی در کشور واردکننده منجر شود. اما باید توجه داشت که اگر مبادلات آب مجازی به صورت هدفمند و آگاهانه انجام گیرد با صرفه‌جویی و آزاد کردن منابع آب، حتی می‌تواند منجر به گسترش اشتغال در سایر فعالیت‌های اقتصادی گردد. مبادلات آگاهانه آب مجازی در اینجا بدین مفهوم است که یک کشور باید محصولاتی با بهره‌وری آب بیشتر جهت صادرات را مدنظر قرار داده و واردات خود را بیشتر بر محصولاتی با بهره‌وری آب کمتر، بنا نهد. بنابراین باید توجه داشت که کاهش آب مجازی مصرف شده در یک محصول، به مفهوم افزایش بهره‌وری آب در آن محصول می‌باشد.

<sup>۱</sup> Water Footprint

<sup>۲</sup> Chapagain

### ۳- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مطابق با تئوری تجارت، تجارت آب مجازی بین‌المللی بر حسب مزیت نسبی (که اولین بار توسط دیوید ریکاردو مطرح شد) و این واقعیت که منابع طبیعی به صورت یکنواخت در طول مکان و زمان توزیع نمی‌شود ارزشگذاری می‌شود. بر این اساس، می‌توان گفت چنانچه کشوری روی تولید کالاها و خدماتی که در آن دارای مزیت نسبی است تمرکز کرده و در آن تخصص یابد و در طرف مقابل به واردات آن دسته از کالاها و خدماتی بپردازد که در آن‌ها دارای مزیت نسبی نیست، منفعت کسب می‌کند (روسگرانت و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲). در این حالت، کشور مورد نظر می‌تواند به صورت کارا تر و با هزینه پایین‌تری نسبت به سایر کشورها به تولید کالاها و خدمات بپردازد. بر این اساس، بسیاری از کشورهایی که با کمبود منابع آب مواجه هستند می‌توانند با وارد کردن محصولات آب‌بر و صادرات محصولاتی که به آب کمتری احتیاج دارند در منابع آب خود صرفه‌جویی کنند (چاپاگین و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین چارچوب نظری تجارت آب مجازی بر پایه تئوری مزیت نسبی استوار است. اما آنچه بیشتر مدنظر این مقاله قرار دارد ارتباط تجارت آب مجازی و درآمد سرانه در مناطق مختلف است. بر این اساس در ادامه ابتدا به بررسی مبانی نظری ارتباط درآمد سرانه و تجارت آب مجازی پرداخته می‌شود.

از دیرباز چنین تصور می‌شده است که سطح درآمد روی مقدار آب مصرفی اثرگذار است. معمولاً تخمین کشش درآمدی در مطالعات مربوط به تخمین تقاضای آب امری متداول است. مطالعات مربوط به کشش‌های درآمدی عموماً به دو بخش بزرگ مصرف‌کننده آب یعنی کشاورزی و خدمات تسری نیافته است. بخش‌های مذکور از آب به عنوان نهاده به جای کالای نهایی استفاده می‌کنند و بنابراین تقاضای آب برای آنها عموماً با استفاده از مدل‌های حداکثر کننده سود، مدل‌سازی می‌شود. در این مدل‌ها فرض می‌شود که آب در نرخ نهایی تولید مصرف می‌شود (یانگ و زندر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲) و بنابراین تابعی از درآمد نیست. اما اگر به مساله آب با مفهوم آب نهفته در محصولات توجه شود آنگاه ملاحظه می‌شود که بخش کشاورزی سهم عمده‌ای را در مبادلات آب مجازی به خود اختصاص می‌دهد. با مفهوم آب مجازی، الگوی ساده‌ای برای تاثیر رشد اقتصادی بر روی مبادله آب مجازی وجود ندارد. بسته به کشور، بازارها و سیاست‌های غالب، نتیجه متفاوت خواهد بود. به

<sup>1</sup> Rosegrant et al.

<sup>2</sup> Young and Zehnder

منظور تجزیه و تحلیل میزان تاثیر رشد اقتصادی بر مبادله آب مجازی، باید متغیرهایی که بر نتایج پدیده مبادله آب مجازی تاثیر می‌گذارند، مورد بررسی قرار گیرد. این اثرات تحت عنوان سه شاخص اصلی اثرات مقیاس، اثرات تغییر ترکیب بخشی و اثرات تغییرات تکنولوژیکی تقسیم‌بندی می‌شود (گاریدو و همکاران، ۲۰۱۰).

### ۳-۱- اثرات مقیاس

رشد اقتصادی به عنوان افزایش ارزش کالاها و خدمات تولید شده اندازه‌گیری می‌شود. رشد در مقیاس تولید ممکن است با استفاده بیشتر از منابع طبیعی همراه باشد. اگر این امر همراه با افزایش تجارت بین‌المللی باشد، ممکن است به این معنا باشد که یک کشور خاص، دارایی‌های طبیعی را از طریق وارد کردن منابع طبیعی مورد نیاز خود از بین می‌برد. این موضوع ناشی از واقعیت‌های شکست بازار از قبیل عدم رعایت حقوق مالکیت، قیمت‌گذاری ناقص منابع و عدم لحاظ نمودن اثرات زیست محیطی می‌باشد (بریک و برانزیک<sup>۱</sup>، ۲۰۰۴).

افزایش سرانه تولید ناخالص داخلی هم می‌تواند منجر به تامین منابع بیشتری برای حفاظت از محیط زیست شده و نیز تقاضای جامعه برای حمایت از حامیان محیط زیست را افزایش دهد (نیومایر<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱). این مسائل می‌تواند به کاهش مصرف آب در فرایندهای تولیدی منتج شود. رشد اقتصادی و افزایش سرانه تولید ناخالص داخلی دولت‌ها را قادر می‌سازد که منابع خاصی را برای اهداف مختلف، از جمله کنترل آلودگی و حفاظت از محیط زیست، اختصاص دهند. بنابراین پتانسیل کاهش مصرف سرانه منابع طبیعی به سطح درآمد هر منطقه بستگی دارد. در واقع وقتی افراد جامعه به سطح معینی از درآمد می‌رسند، آگاهی‌های اکولوژیکی و زیست محیطی نیز توسعه می‌یابد. این موضوع می‌تواند منجر به تشکیل سازمان‌های مردم‌نهاد زیست محیطی و حمایت از مسائل زیست محیطی گردد. علاوه بر این درخواست برای کالاهای سازگار با محیط زیست نیز افزایش می‌یابد. از سوی دیگر رشد اقتصادی با تغییر در الگوی مصرف خانوار نیز همراه است. چپاگین و هوکسترا (۲۰۰۴) در مطالعه خود نشان دادند که مصرف گوشت به سرعت با رشد تولید ناخالص داخلی تا سطح معینی از درآمد (حدود ۵۰۰۰ دلار آمریکا در سال) افزایش می‌یابد و پس از آن حساسیت به تغییر درآمد ملی کمتر می‌شود. این مساله در مورد

<sup>1</sup> Brack and Branczik

<sup>2</sup> Neumayer



کشورهای نوظهور همچون برزیل، روسیه، هند و چین نیز صادق بوده است. به طوری که با افزایش سرانه تولید ناخالص داخلی رژیم‌های غذایی به طور قابل توجهی به سمت مصرف گوشت و لبنیات- که حجم آب مجازی بیشتری را نیاز دارند- تغییر یافته است (مولدن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۷). بنابراین رشد درآمد سرانه از طریق الگوی مصرف نیز یک رابطه U وارون با مبادله آب مجازی ایجاد می‌کند.

بر اساس هرم نیازهای مازلو، رشد درآمد سرانه در کشورهای با درآمد سرانه پایین در ابتدا به مصرف بیشتر مواد غذایی (که مصرف آب بالایی دارند) منجر می‌گردد. با افزایش درآمد سرانه در مراحل اولیه رشد اقتصادی، مصرف محصولاتی چون گوشت و لبنیات به سرعت افزایش می‌یابد. از آنجایی که این محصولات آب بر هستند، بنابراین میزان مصرف آب در مراحل اولیه به شدت افزایش می‌یابد. بنابراین نیاز به آب مجازی در چنین کشورهایی بیشتر شده که در نهایت منجر به افزایش شدید خالص واردات آب مجازی می‌شود. از سوی دیگر رشد درآمد سرانه در کشورهایی با درآمد سرانه بالا به دلیل قرار گرفتن در طبقات بالایی هرم نیازهای مازلو، کمتر به افزایش تقاضا برای محصولات غذایی منجر می‌گردد. بدین لحاظ انتظار می‌رود که رشد درآمد سرانه در چنین کشورهایی کمتر به افزایش نیاز به آب مجازی منجر شود (کاتز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸).

این مسائل را می‌توان به عنوان دلایل وجود رابطه U معکوس میان رشد درآمد سرانه و رشد خالص واردات آب مجازی مطرح کرد. در واقع اگرچه میان سطح درآمد سرانه و خالص واردات آب مجازی همواره یک رابطه مثبت وجود دارد، یعنی با افزایش درآمد سرانه در یک کشور خالص واردات آب مجازی هم افزایش می‌یابد. اما شیب این تابع در سطوح اولیه درآمد سرانه فزاینده و سپس در سطوح بالایی درآمد سرانه کاهش خواهد بود. بنابراین رشد درآمد سرانه در یک کشور با رشد خالص واردات آب مجازی از یک رابطه U معکوس تبعیت می‌نماید. شواهد تجربی نیز نشان می‌دهد آگاهی زیست محیطی زمانی توسعه می‌یابد که کشور به سطح خاصی از درآمد سرانه برسد و به واسطه منحنی کوزنتس محیطی (EKC)، قابل تعریف است. (گاریدو و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین بر اساس مبانی نظری یک رابطه درجه ۲ میان رشد درآمد سرانه در یک کشور با رشد خالص

<sup>1</sup> Molden

<sup>2</sup> Katz

واردات آب مجازی وجود دارد که در آن ضریب متغیر درجه ۲ منفی است (به شکل U وارون).

### ۳-۲- اثرات تغییر ترکیب بخشی

تغییرات در ساختار اقتصادی با رشد اقتصادی تشدید می‌شود. رشد اقتصادها معمولاً از استخراج مواد اولیه به صورت خام آغاز شده و سپس از طریق پردازش مواد خام و تولیدات صنعتی و در نهایت توسعه بخش خدمات گسترش می‌یابد. هر یک از این گام‌ها در فرایند رشد اقتصادی منجر به کاهش استفاده از منابع طبیعی می‌شود. گرچه قیمت‌گذاری صحیح و لحاظ نمودن اثرات خارجی زیست محیطی عامل اصلی به شمار می‌آید (بریک و برانزیک، ۲۰۰۴). بنابراین ترکیب سهم ارزش افزوده فعالیت‌ها نقش مهمی در میزان مبادلات آب مجازی دارد. در واقع هر چه سهم بخش کشاورزی در اقتصاد یک منطقه بیشتر باشد این بدان معنا است که اقتصاد آن منطقه متکی بر منابع آب داخلی خود بوده و کمتر واردکننده آب مجازی خواهد بود. در مقابل هر چه سهم بخش‌های دیگر (صنعت و خدمات) در اقتصاد آن منطقه افزایش یابد، وابستگی منطقه به واردات آب مجازی بیشتر خواهد شد (گاریدو و همکاران، ۲۰۱۰). از این‌رو، بر اساس مبانی نظری، رشد سهم ارزش افزوده بخش کشاورزی دارای تاثیر منفی بر رشد خالص واردات آب مجازی در یک منطقه است.

### ۳-۳- اثرات تغییرات تکنولوژیکی

اثرات تغییرات تکنولوژیکی به طور کلی به دلیل روش‌های تولید جدید است. تغییرات تکنولوژیکی درونی به واسطه افزایش روند تولید، قیمت، ساختار بازار، انگیزه‌های اقتصادی و بهبود سرمایه فیزیکی و انسانی به وجود می‌آید. پتانسیل یک منطقه برای دسترسی به تکنولوژی‌های مدرن در بازارهای بین‌المللی و استفاده از تکنولوژی‌هایی که وابستگی تولید به منابع طبیعی را کاهش می‌دهد- به ویژه در بخش کشاورزی- می‌تواند در کاهش مبادلات آب مجازی موثر باشد (دی سویسا<sup>۱</sup> و نیومایر، ۲۰۰۵). به عنوان مثال، بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌تواند با استفاده از برداشت پیشرفته از باران و تکنیک‌های آبیاری جدید، بهبود یابد و میزان آب مجازی مصرف شده در هر واحد محصول کاهش می‌یابد. این موضوع در نهایت منجر به کاهش آب مجازی در مبادلات کالایی می‌شود.

<sup>1</sup> De Soysa

اگرچه رشد اقتصادی در مراحل پایانی (بعد از سطح مشخصی از درآمد سرانه) می‌تواند به کاهش مبادلات آب مجازی منتج شود ولی اگر مساله اثرات تکنولوژیکی در نظر گرفته نشود تحقق این امر ممکن است با مشکل مواجه شود. در واقع نحوه رشد اقتصادی در یک منطقه تاثیر قابل توجهی بر میزان مبادلات آب مجازی دارد. اگر رشد منطقه در سطوح بالایی درآمد سرانه بازهم متکی بر منابع طبیعی باشد و منجر به رشد سطح تکنولوژی در منطقه نشود، انتظار بر آن است که رشد اقتصادی در سطوح بالا باز هم با افزایش شتابان سطح مبادلات آب مجازی همراه باشد. این موضوع در اثر تغییرات تکنولوژیکی به ویژه در بخش کشاورزی، خود را نشان می‌دهد (گاریدو و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین رشد سطح تکنولوژیکی یک منطقه (به ویژه در بخش کشاورزی) دارای یک رابطه منفی با رشد خالص واردات آب مجازی است.

تحقیقات خارجی متعددی در زمینه بررسی نقش درآمد ملی در توصیف الگوهای مصرف آب مجازی صورت گرفته است. انتظار می‌رود که تجارت آب مجازی، مصرف آب را در سطح ملی و بین‌المللی به دلیل استفاده کاراتر و تخصصی‌تر از آب، کاهش دهد. نتایج مطالعه اوکی، یانو و هاناساکی<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) گویای این واقعیت است که کشورهای صادرکننده آب مجازی دارای منابع آب و درآمد سرانه بالاتری هستند و نشان می‌دهد که سطح درآمد سرانه عامل تعیین کننده‌ای است که مشخص می‌کند یک کشور جزو صادرکنندگان آب مجازی (به صورت خالص صادرات) قرار می‌گیرد. به گونه‌ای که پایین‌تر از سطح معینی از درآمد سرانه، کشوری صادرکننده آب مجازی (به صورت خالص) نمی‌باشد.

رامیرز والژو و روگرز<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) به کشش درآمدی مثبتی برای تقاضای آب مجازی در بخش کشاورزی دست یافته‌اند. چا‌پاگین و هوکسترا (۲۰۰۴) نیز همبستگی مثبتی را میان ردپای آب در سطح ملی و درآمد و همچنین میان ردپای آب در بخش صنعت و درآمد یافته‌اند ولی در مطالعه آنان ارتباط معنی‌داری میان این دو متغیر در بخش کشاورزی یافت نشده است. بر این اساس چا‌پاگین و هوکسترا (۲۰۰۷)، درآمد را به عنوان یکی از چهار عامل موثر بر مصرف آب مجازی مطرح کرده و بریتلا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷)

<sup>1</sup> Oki, Yano and Hanasaki

<sup>2</sup> Ramirez-Vallejo and Rogers

<sup>3</sup> Berritella et al.

درآمد را به عنوان یک عامل در مدل تعادل عمومی تجارت آب مجازی در بخش کشاورزی وارد می‌کنند. البته هیچ یک از این مطالعات وجود ارتباط U معکوس را بین درآمد و واردات آب مجازی آزمون نمی‌کنند.

مطالعاتی مختلفی در زمینه ارتباط بین رشد درآمد و مبادلات آب مجازی انجام شده است. در بعضی از این مطالعات این نتیجه بدست آمده است که مصرف آب از یک ارتباط از نوع منحنی کوزنتس محیطی (EKC) یا منحنی U معکوس تبعیت می‌کند. از جمله این پژوهش‌ها می‌توان به مطالعه راک<sup>۱</sup> (۱۹۹۸)، گوکلانی<sup>۲</sup> (۲۰۰۲)، جیا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) و کاتز (۲۰۰۸) اشاره نمود. دلیل این امر نیز بازده فزاینده نسبت به مقیاس در تجهیزات صرفه‌جویی کننده آب (نظیر سیستم‌های آبیاری)، تغییر الگوی مصرف جامعه و نیز کشش درآمدی مثبت تقاضا برای حفاظت محیط زیست می‌باشد.

میگلنیتا، دی لئو و توما (۲۰۱۶) فرضیه منحنی کوزنتس زیست محیطی (EKC) را با استفاده از شاخص آب مجازی مورد بررسی قرار می‌دهند. آن‌ها با بکارگیری مدل‌های خطی و غیرخطی و روش حداقل مربعات معمولی، رابطه بین تأثیر آب مجازی و درآمد ناخالص ملی سرانه را برای ۹۴ کشور (شامل دو گروه کشورهای با درآمد بالا و درآمد پایین) در فاصله سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶ تخمین می‌زنند. نتایج مطالعه حاکی از آن است که فرضیه EKC تأیید نمی‌شود. آن‌ها در ادامه استدلال می‌کنند که دلیل عدم تأیید رابطه U وارون می‌تواند از سه عامل کلیدی زیر منشا گیرد: اثر مقیاس، اثر ساختار تولیدی و اثر تکنولوژی. با توجه به نتایج این مطالعه، آن‌ها توصیه می‌کنند که هر کشور به منظور صرفه‌جویی در منابع آبی و کاهش مصرف آب مجازی، اولویت خود را به پروژه‌های مربوط به بهره‌وری آب اختصاص دهد.

سبری<sup>۴</sup> (۲۰۱۵) بیان می‌کند که تجزیه و تحلیل مبحث «ردپای آب» به سرعت به یک زمینه تحقیقاتی در دنیا تبدیل شده است، اگرچه به رابطه آن با رشد اقتصادی کمتر پرداخته شده است. با استفاده از داده‌های مقطعی در دسترس (شامل نمونه‌ای از کشورهای در حال توسعه و توسعه یافته)، این مطالعه به بررسی این موضوع می‌پردازد که چگونه ردپای آب سرانه به عنوان تابعی از درآمد سرانه در چارچوب منحنی زیست محیطی

<sup>1</sup> Rock

<sup>2</sup> Goklany

<sup>3</sup> Jia et al.

<sup>4</sup> Sebri

کوزنتس تغییر می‌کند. نویسنده در دو حالت (شامل مدل کلی و نیز به تفکیک بخش‌های مختلف اقتصادی) مدل مورد نظر را برآورد می‌کند. نتایج برآورد اگر چه دال بر تایید فرضیه U معکوس در داده‌های مورد بررسی نیست ولیکن نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که ابتدا در کشورهای با سطح درآمد پایین‌تر میزان ردپای آب افزایش یافته است سپس به طور موقتی با افزایش سطح درآمد (در کشورهای توسعه یافته) از میزان ردپای آب کاسته شده و سپس در مراحل بعدی با افزایش درآمد در کشورهای ثروتمندتر مجدداً میزان ردپای آب افزایش یافته است. نتایج این مطالعه در حالت بخشی نیز نشان می‌دهد که در میان بخش‌های اقتصادی در نظر گرفته شده در بخش صنعت با افزایش درآمد سرانه میزان ردپای آب نیز افزایش می‌یابد. در انتها، نویسنده این نکته را خاطر نشان می‌کند که زمانی که کشورها سیاست‌های افزایش رشد اقتصادی را در پیش می‌گیرند میزان مصرف آب (آب مجازی) نیز افزایش خواهد یافت و بنابراین چالشی را پیش‌روی کشورهایی که با کمبود منابع آبی مواجهند قرار خواهد داد.

کاتز (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با عنوان «استفاده از آب و رشد اقتصادی: بازنگری در رابطه منحنی کوزنتس زیست محیطی» تلاش می‌کند تا علت نتایجی که در مطالعات پیش از این درباره ردفرضیه EKC بدست آمده است را توضیح دهد. بدین ترتیب وی از مجموعه‌ای از روش‌های داده‌های مقطعی، داده‌های پانل و روش‌های غیرپارامتریک جهت بررسی رابطه U وارون میان درآمد سرانه و برداشت آب استفاده می‌کند. این مطالعه نشان می‌دهد که نتایج تا حد زیادی به نوع داده‌های مورد استفاده در مبحث آب مجازی و روش برآورد مدل بستگی دارد. به گونه‌ای که در روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی، وجود فرضیه U وارون بین درآمد سرانه و میزان برداشت آب شیرین تایید می‌شود در حالی که با بکارگیری روش‌های غیرپارامتریک این فرضیه مورد تایید قرار نمی‌گیرد. نتایج حاصل از روش داده‌های اثرات ثابت (داده‌های پانل) برای کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) و ایالت متحده حکایت از وجود ارتباط EKC در مدل دارد. بنابراین نویسنده خاطر نشان می‌کند که نتایج تا حد زیادی به استفاده از نوع روش تخمین و مجموعه داده‌های مورد نیاز بستگی دارد.

از این رو بر اساس مبانی نظری و پیشینه تحقیق مطرح شده در این بخش، مدل اقتصاد سنجی در بخش بعدی مقاله تصریح می‌گردد.

#### ۴- تصریح مدل اقتصاد سنجی

از آنجایی که به نظر می‌رسد میان کشورهای منتخب (شامل کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه از جمله ایران) از نظر خالص واردات آب مجازی ناهمگنی وجود دارد از این‌رو، در مطالعه حاضر از روش داده‌های پانل به منظور تخمین مدل رگرسیونی استفاده می‌شود. همانطور که در بخش مبانی نظری ملاحظه گردید سه متغیر اصلی بر رشد خالص واردات آب مجازی موثر می‌باشد. این متغیرها شامل رشد سهم بخش کشاورزی (اثرات تغییر ترکیب بخشی اقتصاد)، رشد تکنولوژی (اثرات تغییرات تکنولوژیکی) و رشد درآمد سرانه (اثرات مقیاس) می‌باشند. از آنجایی که در این مدل، رشد خالص واردات آب مجازی به عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شده است، بنابراین سایر متغیرهای محیطی از جمله تفاوت نوع اقلیم، سطح آب‌های جاری، میانگین بلندمدت بارش و... بر رشد خالص واردات تاثیر قابل توجهی ندارد. اگرچه متغیرهای محیطی بر سطح واردات آب مجازی در یک منطقه موثر هستند و حتی مشخص کننده این موضوع هستند که یک کشور به طور خالص واردکننده آب مجازی و یا صادرکننده آب مجازی (با خالص واردات منفی) می‌باشد، اما رشد آن وابسته به اثرات تغییر ترکیب بخشی اقتصاد، اثرات تغییرات تکنولوژیکی و اثرات مقیاس می‌باشد (گاریدو و همکاران، ۲۰۱۰). این بدان معنی است که یک منطقه با داشتن هر سطحی از خالص واردات آب مجازی، رشد واردات عمدتاً وابسته به متغیرهای مورد نظر در مدل ارایه شده می‌باشد. بنابراین سه متغیر رشد سهم بخش کشاورزی، رشد تکنولوژی و رشد درآمد سرانه به عنوان متغیرهای اصلی تاثیرگذار بر رشد خالص واردات آب مجازی شناخته می‌شوند.

علاوه بر این، مبانی نظری ارایه شده نشان داد که یک رابطه U معکوس میان نرخ رشد درآمد سرانه و خالص واردات آب مجازی وجود دارد. این رابطه از آنجا ناشی می‌شود که در فرآیند تولید محصولات مختلف، سهم عمده مصرف آب به تولید محصولات غذایی و فرآورده‌های کشاورزی اختصاص دارد. از سوی دیگر بر اساس هرم نیازهای مازلو، رشد درآمد سرانه در کشورهای با درآمد سرانه پایین در ابتدا به مصرف بیشتر مواد غذایی منجر می‌گردد. بنابراین نیاز به آب مجازی در چنین کشورهایی به شدت افزایش می‌یابد که در نهایت منجر به افزایش شدید خالص واردات مجازی آب می‌شود. از سوی دیگر، رشد درآمد سرانه در کشورهایی با درآمد سرانه بالا به دلیل قرار گرفتن در طبقات بالایی هرم نیازهای مازلو، کمتر به افزایش تقاضا برای محصولات غذایی منجر می‌گردد. بدین لحاظ

انتظار می‌رود که رشد درآمد سرانه در چین کشورهایی کمتر به افزایش نیاز به آب مجازی منجر شود (کاتز، ۲۰۰۸). بنابراین بر اساس مبانی نظری یک رابطه درجه ۲ میان رشد درآمد سرانه در یک کشور با رشد خالص واردات آب مجازی وجود دارد که در آن ضریب متغیر درجه ۲، منفی است (به شکل U وارون). بر اساس مبانی نظری، انتظار بر آن است که رابطه میان رشد سهم بخش کشاورزی و رشد خالص واردات آب مجازی منفی باشد و همینطور متغیر رشد سطح تکنولوژی نیز از یک رابطه معکوس با رشد خالص واردات آب مجازی برخوردار گردد.

بر این اساس مدل رگرسیونی زیر با توجه به مبانی نظری ارائه شده در بخش سوم مقاله و نیز بر اساس نتایج مطالعه میگلیتا، دی لئو و توما (۲۰۱۶) به صورت زیر تصریح می‌گردد:

$$TVW_{it} = \beta_1 + \beta_2 GPI_{it} + \beta_3 GPI_{it}^2 + \beta_4 SA_{it} + \beta_5 T_{it} + U_{it} \quad (1)$$

که در آن  $i$  و  $t$  به ترتیب نشان دهنده کشور و سال می‌باشند و  $TVW$  نشان دهنده رشد خالص واردات مجازی آب،  $GPI$  رشد درآمد سرانه،  $SA$  رشد سهم بخش کشاورزی در اقتصاد و  $T$  رشد سطح تکنولوژی می‌باشد.  $U$  نیز جزء اخلاص مدل است.

همانطور که در بخش قبل اشاره شد، رشد تکنولوژی بخش کشاورزی مهمترین عامل در تاثیرگذاری تکنولوژیکی یک منطقه بر رشد خالص واردات آب مجازی در آن منطقه است. از این رو در مقاله حاضر سطح مکانیزاسیون بخش کشاورزی به عنوان شاخص سطح تکنولوژی در نظر گرفته شده است.

آمار مربوط به میزان آب مجازی برای هر کد محصول و استانداردهای مربوطه برای ارزیابی میزان آب واقعی توسط «موسسه ردپای آب»<sup>۱</sup> تدوین شده است. میزان صادرات و واردات به تفکیک کد کالایی نیز بر اساس اطلاعات UNSD<sup>۲</sup> استخراج شده است. جهت محاسبه حجم آب مجازی نهفته در کالاهای صادراتی و وارداتی یک کشور، ابتدا حجم آب مجازی موجود در هر کالا (به تفکیک کدهای ۶ رقمی) بر اساس آمار «موسسه ردپای آب» استخراج می‌گردد. سپس از حاصلضرب حجم آب مجازی هر کالا در میزان واردات یا صادرات آن در کشورهای منتخب، حجم مبادلات آب مجازی میان کشورها مشخص می‌گردد. آمار مربوط به درآمد سرانه، سهم بخش کشاورزی در اقتصاد و رشد تکنولوژی

<sup>1</sup> Water Footprint Network (WFN)

<sup>2</sup> United Nations Statistics Division

نیز بر اساس آمار منتشره از بانک جهانی<sup>۱</sup> می‌باشد. بر این اساس مدل فوق با استفاده از روش داده‌های پانل و با نرم افزار *Eviews 7* در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۲ برای کشورهای منتخب تخمین زده شده که نتایج برآورد مدل در بخش بعدی مقاله ارایه خواهد شد. در ادامه جهت شناسایی نوع کالاهای صادراتی و وارداتی آب مجازی در ایران به بررسی کالاهای عمده در این خصوص پرداخته می‌شود. جدول (۱) محصولات عمده وارداتی و صادراتی آب مجازی در ایران را در سال ۲۰۱۲ نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رود مهمترین محصول وارداتی آب مجازی در کشور گندم است. میزان واردات آب مجازی گندم در سال ۲۰۱۲ در حدود ۸/۷ میلیارد متر مکعب (با سهمی بیش از ۲۸ درصد کل واردات آب مجازی کشور) می‌باشد. دانه ذرت پس از گندم در رتبه دوم از لحاظ میزان واردات آب مجازی در کشور قرار دارد. این محصول بیش از ۲۱ درصد از واردات آب مجازی کشور را به خود اختصاص داده است. واردات آب مجازی در مجموع ۸ قلم محصولات عمده در سال ۲۰۱۲، به حدود ۲۶ میلیارد متر مکعب رسیده است. حجم بالای واردات آب مجازی بویژه در کالاهایی همچون گندم- که یک کالای استراتژیک در کشور محسوب می‌شود- نشان می‌دهد که سیاست‌های مرتبط با خودکفایی گندم همچنان ناموفق بوده است. در نتیجه باید این واقعیت را پذیرفت که تحقق سیاست‌های خودکفایی در محصولات کشاورزی نیازمند منابع فراوان آب شیرین است که تنها در صورت مدیریت صحیح منابع آبی امکان‌پذیر خواهد بود. اما در خصوص واردات محصولات استراتژیک باید به این نکته توجه داشت که پتانسیل عظیمی که در تجارت مواد غذایی نهفته است آنرا مستعد می‌سازد تا در معادلات دیپلماتیک وارد شود. وابستگی بیش از حد امنیت غذایی به واردات سبب می‌شود که کشورهای صادرکننده توانایی تحمیل خواسته‌های خود و دخالت در مسائل داخلی کشورهای واردکننده را داشته باشند.

در میان محصولات عمده صادراتی آب مجازی در ایران محصول پسته بیشترین سهم در صادرات آب مجازی را به خود اختصاص داده است. صادرات این محصول در سال ۲۰۱۲ بیش از ۱/۸ میلیارد متر مکعب آب را به صورت مجازی از کشور خارج نموده که سهمی در حدود ۳۰ درصد از کل صادرات آب مجازی کشور را به خود اختصاص داده است. نخود به عنوان دومین محصول عمده صادرکننده آب مجازی در کشور به شمار می‌رود که سهمی در حدود ۷/۳ درصد از کل صادرات آب مجازی کشور را شامل می‌شود. در مجموع

<sup>۱</sup> The World Bank



۵ قلم محصولات عمده ذکر شده در سال ۲۰۱۲ در حدود ۴/۱ میلیارد مترمکعب صادرات آب مجازی داشته‌اند که نشان می‌دهد تکیه بر صادرات محصولات کشاورزی تا چه حد می‌تواند بر منابع آبی محدود کشور فشار وارد نماید. در واقع با توجه به منابع آبی محدود کشور، تاکید بر مثبت شدن تراز تجاری نباید متکی بر صادرات محصولات کشاورزی - بویژه محصولات آب‌بر- باشد.

### جدول (۱): محصولات عمده وارداتی و صادراتی آب مجازی ایران سال ۲۰۱۲

(میلیون متر مکعب)

صادرات		کد محصول	عنوان محصول	واردات		کد محصول	عنوان محصول
سهم	حجم			سهم	حجم		
۳۰/۳	۱۸۸۶	۰۸۰۲۵۰	پسته	۲۸/۵	۸۷۵۸	۱۰۰۱۱۰	دانه گندم
۷/۳	۶۵۶	۰۷۱۳۲۰	نخود خشک	۲۱/۶	۶۶۲۹	۱۰۰۵۱۰	دانه ذرت
۵/۱	۳۱۴	۰۸۰۶۲۰	انگور خشک	۸/۹	۲۷۳۶	۱۲۰۱۰۰	دانه سویا
۴/۳	۲۶۸	۰۸۰۴۱۰	خرما	۷/۲	۲۲۲۵	۱۰۰۳۰۰	جو و بذر جو
۲/۳	۱۴۵	۰۵۰۴۰۰	دل و روده جانوران	۴/۷	۱۴۵۵	۱۰۰۶۳۰	برنج
				۴/۸	۱۴۸۶	۱۷۰۱۱۱	شکر خام
-	-	-	-	۳/۷	۱۱۵۱	۱۵۱۱۹۰	روغن پالم
-	-	-	-	۲/۹	۸۹۳	۰۲۰۲۳۰	گوشت گاو
-	-	-	-	۲/۳	۷۱۶	۱۵۰۷۱۰	کنجاله سویا
۴۵/۳	۳۲۶۹	کل محصولات عمده صادراتی		۸۷/۵	۱۲۰۹۵	کل محصولات عمده وارداتی	
۱۰۰	۷۲۱۹	کل صادرات آب مجازی		۱۰۰	۱۳۸۳۱	کل واردات آب مجازی	

ماخذ: محاسبات تحقیق

## ۵- تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از تخمین

در این بخش، نتایج حاصل از برآورد مدل (۱)، ارایه شده و تجزیه و تحلیل می‌گردد. ابتدا نتایج برآورد مدل تاثیر رشد درآمد سرانه بر رشد خالص واردات آب مجازی بیان می‌شود. علامت ضرایب در این مدل می‌تواند وجود یک رابطه U وارونه بین رشد درآمد سرانه و میزان رشد خالص واردات آب مجازی را نشان دهد. در ادامه با توجه به نتایج حاصل از تخمین مدل برای کشورهای منتخب در دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۱ به تحلیل نتایج مذکور پرداخته می‌شود. کشورهای منتخب شامل کشورهای توسعه یافته (۱۵ کشور اروپایی آلمان، اسپانیا، فرانسه، هلند، انگلستان، ایتالیا، بلژیک، پرتغال، اتریش، یونان، دانمارک، سوئد، ایرلند، فنلاند و لوکزامبرگ) و همچنین کشورهای در حال توسعه شامل کشورهای حوزه خلیج فارس (ایران، عراق، عربستان، عمان، امارات متحده عربی، کویت، قطر و بحرین) می‌باشد. دلیل انتخاب این دو گروه کشور در آن است که ناهمگنی درآمد بین این کشورها می‌تواند به خوبی واقعیت موجود در واردات آب مجازی را در این کشورها توضیح دهد. بر این اساس انتخاب نمونه مورد نظر در مقاله حاضر بر این اصل استوار است که طیفی از کشورها با سطوح مختلف درآمد سرانه را شامل شود تا بتوان به آزمون فرضیه ارتباط U وارون بین رشد درآمد سرانه و خالص واردات آب مجازی پرداخت.

برای تخمین مدل با داده‌های پانل در ابتدا لازم است که نوع داده‌های مدل رگرسیون از جهت پانل یا تلفیقی بودن مشخص شود که این کار با انجام آزمون چاو یا F مقید صورت می‌گیرد. به همین دلیل در این بخش جهت برآورد و تخمین مدل ابتدا آزمون F مقید برای انتخاب بین روش‌های اثرات مشترک (تلفیقی)<sup>۱</sup> و داده‌های پانل انجام یافته است. فرض  $H_0$  این آماره، بیانگر انتخاب روش اثرات مشترک و اولویت آن نسبت به روش پانل است. براساس آنچه در جدول (۲) مشاهده می‌شود آماره آزمون  $F=1488/18$  با ارزش احتمال نزدیک به صفر است، بنابراین فرض  $H_0$  مبنی بر برابری عرض از مبداها رد شده و روش داده‌های پانل انتخاب می‌شود.

<sup>۱</sup> Pooling Data

## جدول (۲): نتایج حاصل از تخمین مدل (۱)

متغیر	ضریب	انحراف معیار	آماره t	احتمال
C	۳/۹۵	۱/۹۱	۲/۰۷	۰/۳۹۵
GPI	۱/۵۰	۰/۴۱	۳/۶۲	۰/۰۰۰۴
GPI <sup>2</sup>	-۰/۰۶	۰/۰۲	-۲/۹۷	۰/۰۰۳۳
SA	-۰/۱۰	۰/۰۵	-۲/۰۹	۰/۰۳۷۶
T	-۰/۶۲	۰/۰۶	-۹/۵۲	۰
R <sup>2</sup>	۰/۹۹۵	آماره F	۱۴۸۸/۱۸	۰
$\hat{R}^2$	۰/۹۲۳	آماره هاسمن	۱۷/۴۲	۰/۰۰۱۶

مأخذ: نتایج تحقیق

نتایج آزمون هاسمن نشان می‌دهد که بر اساس میزان احتمال به دست آمده، فرضیه صفر با سطح اطمینان ۹۹ درصد، مبنی بر آنکه مدل اثرات تصادفی را می‌توان به جای مدل اثرات ثابت بکار برد رد می‌شود. به این ترتیب باید از تخمین روش اثرات ثابت استفاده نمود. لذا نتایج حاصل از تخمین مدل مذکور به روش اثرات ثابت مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

برای اینکه در تخمین‌ها، رگرسیون کاذب ایجاد نشود، باید ابتدا از پایا بودن متغیرها اطمینان حاصل کرد. از طرفی با بررسی پایایی باقیمانده‌های رگرسیون می‌توان رگرسیونی را بدون هراس از کاذب بودن آن، بر اساس سطح متغیرهای سری زمانی برآورد نمود. بدین صورت که اگر باقیمانده‌های حاصل از رگرسیون پایا باشند رگرسیون حاصل نیز مورد اعتماد بوده و متغیرها پایا می‌باشند (گجراتی<sup>۱</sup>، ۱۳۹۱). بنابراین برای بررسی اعتبار مدل رگرسیون تخمین زده شده، آزمون ریشه واحد اجزاء خطا با استفاده از آزمون ایم، پسران و شین<sup>۲</sup> (IPS) - که از مهم ترین آزمون‌های ریشه واحد در داده‌های پانل می‌باشد- انجام شده و نتایج در جدول (۳) ارائه گردیده است.

## جدول (۳): آزمون پایایی اجزاء خطای مدل

نوع آزمون	آماره آزمون t	احتمال
ایم- پسران و شین	-۲/۳۱۹	۰/۰۱۰۲

مأخذ: نتایج تحقیق

<sup>1</sup> Gujarati (2012)

<sup>2</sup> Im, Pesaran and Shin (IPS)

فرضیه صفر این آزمون دلالت بر عدم پایایی یا وجود ریشه واحد در باقیمانده‌های رگرسیون دارد. باتوجه به احتمال به دست آمده، فرضیه صفر تایید نشده و باقیمانده‌ها پایا هستند. بنابراین متغیرهای مدل هم پایا بوده و رگرسیون حاصل از تخمین مدل، کاذب نخواهد بود.

بر اساس مبانی نظری ارائه شده در بخش سوم مقاله حاضر، رشد خالص واردات آب مجازی در هر کشور تحت تاثیر سه پارامتر اساسی قرار می‌گیرد. این سه پارامتر شامل اثرات مقیاس، اثرات تغییر ساختار بخشی و اثرات تکنولوژی می‌باشد. بر این اساس در ادامه به بررسی و تحلیل هر یک از این اثرات پرداخته می‌شود.

#### ۵-۱- بررسی اثرات مقیاس

همانطور که در بخش مبانی نظری اشاره شد، میان رشد خالص واردات آب مجازی و رشد درآمد سرانه یک رابطه U معکوس وجود دارد. بررسی نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که ضریب متغیر GPI (رشد درآمد سرانه) در تخمین مدل مربوطه، مثبت و معنی دار بوده است. همچنین ضریب متغیر  $GPI^2$  در مدل منفی و معنی دار می‌باشد. بنابراین وجود رابطه U معکوس میان رشد خالص واردات آب مجازی و رشد درآمد سرانه در کشورهای منتخب رد نمی‌شود و از این لحاظ با مبانی نظری ارائه شده در بخش سوم مقاله مطابقت دارد.

در واقع نتیجه حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که خالص واردات آب مجازی در کشورهای در حال توسعه (با درآمد سرانه پایین) با رشد بیشتری نسبت به کشورهای توسعه یافته (با درآمد سرانه بالا) افزایش می‌یابد. این موضوع گویای این واقعیت است که در میان کشورهای مورد بررسی در این تحقیق، اکثر کشورهای حوزه خلیج فارس (به عنوان نمونه‌ای از کشورهای با سطح درآمد پایین) در آینده با رشد سریعتر واردات آب مجازی مواجه خواهند بود. در واقع بر اساس مبانی نظری ذکر شده در بخش سوم، گذار از مراحل اولیه توسعه بر شدت مصرف منابع آب می‌افزاید و این امر در نهایت به رشد سریعتر واردات آب مجازی در کشورهای مذکور می‌انجامد. علاوه بر این محدودیت منابع آب در این منطقه باعث تشدید بیشتر رشد واردات آب مجازی در سال‌های آینده خواهد شد.

### ۵-۲- بررسی اثرات تغییر ساختار بخشی

بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد که ضریب متغیر SA (رشد سهم بخش کشاورزی) در تخمین مدل مربوطه، منفی و معنی‌دار بوده است. بنابراین وجود رابطه معکوس میان رشد خالص واردات آب مجازی و رشد سهم بخش کشاورزی در کشورهای منتخب رد نمی‌شود و از این لحاظ با مبانی نظری ارایه شده در خصوص مبادلات آب مجازی مطابقت دارد. بر اساس نتایج حاصل از تخمین می‌توان گفت که هرگاه سهم بخش کشاورزی در اقتصاد کشورهای مورد مطالعه به طور متوسط یک درصد رشد یابد به میزان ۰/۱ درصد خالص واردات آب مجازی کاهش خواهد یافت. بنابراین هرچه ساختار اقتصاد کشورهای مورد مطالعه از بخش کشاورزی به بخش‌های صنعت و خدمات تغییر یابد انتظار می‌رود که بر خالص واردات آب مجازی در این کشورها افزوده شود. به عبارت دیگر، هرگاه به موازات رشد و توسعه اقتصاد کشورهای مورد مطالعه، ترکیب بخشی اقتصاد به نفع بخش‌های صنعت و خدمات تغییر یابد تامین محصولات کشاورزی مورد نیاز در این کشورها به جای وابستگی به منابع آب داخلی، بیشتر بر واردات آب مجازی متکی خواهد بود. در نتیجه پیروی از چنین سیاست‌های توسعه‌ای، می‌تواند با فشار کمتر بر منابع آب داخلی همراه گردد.

### ۵-۳- بررسی اثرات تکنولوژی

بررسی جدول (۲) نشان می‌دهد که ضریب متغیر  $T$  (رشد تکنولوژی) در تخمین مدل مربوطه، منفی و معنی‌دار بوده است. بنابراین وجود رابطه معکوس میان رشد خالص واردات آب مجازی و رشد تکنولوژی در کشورهای منتخب رد نمی‌شود و از این لحاظ با مبانی نظری ارایه شده در خصوص تجارت آب مجازی مطابقت دارد. وجود رابطه معکوس میان رشد خالص واردات آب مجازی و رشد تکنولوژی نشان می‌دهد که کشورها می‌توانند با بکارگیری تکنولوژی‌های جدید، میزان وابستگی به منابع آب را کاهش دهند. این موضوع منجر به آزاد شدن بخش عمده‌ای از منابع آبی می‌گردد که در نهایت می‌تواند جهت تولید سایر محصولات مورد استفاده قرار گیرد و نیاز به واردات آب مجازی را کاهش دهد. در واقع با استفاده از تکنولوژی‌های جدید می‌توان علاوه بر افزایش میزان برداشت محصول در هر هکتار، میزان آب مصرفی را نیز کاهش داد (با استفاده از روش‌های آبیاری نوین). نتیجه این مساله آن است که با منابع آبی موجود، میزان تولید محصولات کشاورزی افزایش یافته و نیاز به واردات آب مجازی کاهش می‌یابد.

از سوی دیگر مقدار ضریب متغیر رشد تکنولوژی معادل  $0/62$  - برآورد شده است. یعنی به ازای هر یک درصد رشد تکنولوژی (ضریب مکانیزاسیون بخش کشاورزی) معادل  $0/62$  درصد کاهش در رشد واردات آب مجازی برای کشورهای مورد بررسی مشاهده می‌گردد. مقایسه ضریب متغیر رشد تکنولوژی (معادل  $0/62$  - درصد) در مقابل ضریب رشد سهم بخش کشاورزی (معادل  $0/1$  - درصد) نشان می‌دهد که اهمیت تغییرات تکنولوژی تا چه حد بیشتر از تغییرات در ساختار اقتصادی می‌باشد. این موضوع نشان می‌دهد که با رشد تکنولوژی به ویژه در بخش کشاورزی می‌توان تا حد زیادی فشار بر منابع آبی را کاهش داد. در واقع رشد تکنولوژی به ویژه در بخش کشاورزی، کارایی در مصرف آب را تا حدی افزایش می‌دهد که می‌تواند مساله تغییر در ساختار اقتصادی کشور (گذار از بخش کشاورزی و حرکت ساختار اقتصادی به سمت بخش‌های صنعت و خدمات) را نیز جبران نماید. از سوی دیگر بالا بودن قدرمطلق ضریب رشد تکنولوژی نشان می‌دهد که می‌توان سیاست‌های تامین کالاهای استراتژیک را در کنار حفظ منابع آب داخلی (و یا فشار کمتر بر منابع آبی کشور) نیز تحقق بخشید. در واقع اگر تولید کالاهای استراتژیک (مانند گندم) در داخل کشور با سیاست‌گذاری مناسب در بخش افزایش ظرفیت‌های تکنولوژیکی و استفاده از شیوه‌های آبیاری نوین همراه باشد، فشار کمتری به منابع آب شیرین وارد نموده و علاوه بر آن پایداری در اجرای سیاست‌های خودکفایی را نیز تضمین می‌نماید.

#### ۶- نتیجه گیری و پیشنهادها

- بر اساس نتایج مطالعه و با تایید شدن فرضیه منحنی کوزنتس زیست محیطی، این واقعیت آشکار می‌شود که چنانچه کشورهای حوزه خلیج فارس بخواهند سیاست‌های شتاب بخشیدن به رشد اقتصادی را در دستور کار خود قرار دهند این امر به منابع آبی این کشورها فشار زیادی را وارد خواهد کرد.

- بر اساس نتایجی که در مطالعه از منفی شدن ضریب متغیر  $SA$  بدست آمد پیشنهاد می‌شود پیشبرد اهداف توسعه‌ای در کشورهای حوزه خلیج فارس از جمله ایران بیشتر متکی بر توسعه بخش‌های صنعت و خدمات باشد تا از این طریق فشار کمتری بر منابع آب شیرین و کمیاب در این مناطق وارد گردد. البته در خصوص توسعه صنعتی باید در کنار حفظ منابع آبی به سایر مسایل زیست محیطی از جمله مباحث مربوط به آلودگی‌های هوا و منابع آبی نیز توجه داشت. البته این موضوع به معنای حذف بخش کشاورزی از

فرایند توسعه کشور نیست بلکه هدف اصلی توجه به تولید محصولاتی است که بیشترین درآمد را از هر واحد آب ایجاد می‌نمایند و در مقابل واردات محصولاتی که به آب بیشتر نیاز داشته و یا بازده کمتری در واحد آب دارند. لذا پیشنهاد می‌گردد با تغییر رویکرد به سمت نظام تخصیص مبتنی بر اصول اقتصادی که هدف آن به دست آوردن حداکثر ارزش اقتصادی از منابع آب باشد، فشار بر منابع آبی را کاهش داده و منابع آبی محدود کشور را در راستای تولید محصولاتی با ارزش اقتصادی بیشتر سوق داد.

- همان طور که در مبانی نظری این مقاله به آن اشاره شد یکی از اهداف تجارت آب مجازی افزایش بهره‌وری منابع آب در سطح جهانی است. اما نتایج آرایه شده در جدول (۱)، مربوط به صادرات آب مجازی در ایران نشان می‌دهد که با وجود محدودیت‌های شدید منابع آبی در داخل، این کشور همچنان صادر کننده محصولات آب‌بر (همچون پسته و نخود) بوده است. این مساله بیشتر ناشی از عدم وجود یک سیستم قیمت‌گذاری مناسب برای منابع آبی کشور است که منجر به استفاده منابع آبی محدود به صورت غیرکارا می‌گردد. بنابراین پیشنهاد می‌گردد هماهنگی سیاست‌های کلان اقتصادی (سیاست‌های قیمتی و غیرقیمتی) با هدف افزایش کارایی اقتصادی آب در دستور کار سیاستگذاران قرار گیرد.

- نتایج این مطالعه نشان داد که قدرمطلق ضریب رشد تکنولوژی نسبت به ضریب رشد سهم بخش کشاورزی بیشتر بوده است. این موضوع نشان می‌دهد که می‌توان سیاست‌های تامین کالاهای استراتژیک را در کنار حفظ منابع آب داخلی (و یا فشار کمتر بر منابع آبی کشور) نیز تحقق بخشید. در واقع رشد تکنولوژی در بخش کشاورزی با صرفه جویی در منابع آبی محدود می‌تواند به عنوان یک ابزار تثبیت کننده در اجرای سیاست‌های خودکفایی در تامین کالاهای استراتژیک (مانند گندم) عمل نماید. بنابراین پیشنهاد می‌شود در کنار اعمال سیاست‌های خودکفایی در تولید محصولات استراتژیک، ابزارهای تشویقی در راستای اصلاح روش‌های آبیاری و افزایش ظرفیت‌های تکنولوژیکی در بخش کشاورزی نیز مدنظر قرار گیرد.

- همچنین بر اساس نتایج حاصل از جدول (۱)، بررسی تراز تجاری آب مجازی در ایران نشان می‌دهد که با وجود اینکه کشور ایران یک واردکننده خالص آب مجازی به شمار می‌رود اما همچنان برخی از کالاهای کشاورزی آب‌بر در بخش صادرات ایران قابل مشاهده است. حجم زیاد آب مجازی صادر شده از طریق این محصولات نشان می‌دهد که تکیه بر

صادرات محصولات کشاورزی تا چه حد می‌تواند بر منابع آبی محدود کشور، فشار وارد نماید. در واقع با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، تاکید بر مثبت شدن تراز تجاری نباید متکی بر صادرات محصولات کشاورزی- بویژه محصولات آب‌بر- باشد. لذا تدوین سیاست‌های بازرگانی مناسب و تمرکز بر جایگزینی صادرات محصولات کشاورزی در تراز تجاری ایران می‌تواند در دستور کار سیاستگذاران حوزه بازرگانی قرار گیرد.



## فهرست منابع

۱. اردکانیان، رضا، و روح الله، سهرابی (۱۳۸۵). تجارت آب مجازی: ادبیات جهانی و کاربرد در ایران. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب/ ایران، اصفهان، دانشگاه صنعتی، ۴۱۶-۴۰۸.
۲. گجراتی، دامور (۱۳۹۱). مبانی اقتصاد سنجی. ترجمه حمید ابریشمی، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
1. Allan, J. A. (1998). Virtual water: A strategic resource, global solution to regional deficits, *Groundwater*, 36(4), 545-546.
2. Ardakaniyan, R. and Sohrabi, R., (2006). Virtual water trading: Global literature and applications in Iran, *2nd Conference on Iranian Water Resources Management*, Isfahan University of Technology, 408-416 (In Persian).
3. Berritella, M., Hoekstra, A.Y., Rehdanz, K., Roson, R. and Tol, R.S.J., (2007). The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis, *Water Research*, 41(8), 1799-1813.
4. Brack, D., Branczik, T. (2004). Trade and environment in the WTO: After Cancun, *Royal Institute of International Affairs*, No. 9.
5. Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004). Water footprints of nations, *Value of Water Research Report Series*, No. 16.
6. Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R. (2006). The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics*, 60(1), 186-203.
7. De Soysa, I., Neumayer, E. (2005). False prophet or genuine savior? assessing the effects of economic openness on sustainable development, *International Organization*, 59(3), 731-772.
8. Garrido, A., Llamas, M. R., Valera- Ortega, C., Novo, P., Rodriguez-Casado, R., Aldaya, M. M. (2010). Water footprint and virtual water trade in Spain, policy implications, *Springer*, New York.
9. Goklany, I.M. (2002). Comparing 20th century trends in U.S. and global agricultural water and land use, *Water International*, 27(3), 321-329.
10. Gujarati, D (2012). The basics of econometrics, translated by Hamid Abrahamami, eighth edition, *Tehran University Publication*, Tehran (In Persian).
11. Hanasaki, N., Inuzuka, T., Kanae, S., Oki, T. (2010). An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model, *Hydrology Journal*, 384 (3), 232-244.
12. Hoekstra, A. Y. (2003). Virtual water trade: Processing of the international expert meeting on virtual water trade, *Value of the Water Research Report Series*, No. 12.

13. Hoekstra, A. Y. and P. Q. Hung. (2002). Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade, *Value of Water Research Report Series*, No. 11.
14. Hoekstra, A.Y., and Chapagain A. K., (2007). Water footprint of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resource Management*, 21(1), 35-48.
15. Hsiao, C (1986). Analysis of panel data, second edition, *Cambridge University Press*, Cambridge.
16. Jia, S., Yang, H., Zhang, S., Wang, L. and Xia, J. (2006). Industrial water use Kuznets curve: Evidence from industrialized countries and implications for developing countries, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 183-191.
17. Katz, D.L. (2008). Water use and economic growth: Is there an EKC for water use?, PhD. Thesis, *University of Michigan*.
18. Katz, D.L. (2014). Water use and economic growth: Reconsidering the environmental Kuznets curve (EKC) relationship, *Journal of Cleaner Production*, article in press, 1-9.
19. Miglietta, P. P., De Leo, F. and Toma, P. (2016). Environmental Kuznets curve and the water footprint: An empirical analysis, *Water and Environment Journal*, 31(1), 20- 30.
20. Molden, D. (2007). Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture, *Earthscan*, London.
21. Neumayer, E. (2001). Greening trade and investment: Environmental protection without protectionism, *Earthscan*, London.
22. Oki, T., Yano, S. and Hanasaki, N. (2017). Economic aspects of virtual water trade, *Environmental research letters*, 12 (4), 1-6.
23. Ramirez- Vallejo, J. and Rogers, P. (2004). Virtual water flows and trade liberalization, *Water Science & Technology*, 49 (7), 25-32.
24. Rock, M.T. (1998). Freshwater use, freshwater scarcity, and socioeconomic development, *Journal of Environment and Development*, 7(3), 278-301.
25. Rosegrant, MW., Cai, X. and Cline, SA. (2002). World water and food to 2025: Dealing with scarcity, *International Food Policy Research Institute*, Washington, DC.
26. Sebri, M. (2015). Testing the environmental Kuznets curve hypothesis for water footprint indicator: A cross- sectional study, *Journal of Environmental Planning and Management*, 59 (11), 1933- 1956.
27. Yang, H. and A. J. B., Zehnder. (2002). Water scarcity and food import: A case study for southern Mediterranean countries, *World Develop*, 30(8), 1423-1430.
28. United Nations Statistical Division (<https://unstats.un.org>).
29. Water Footprint Network ([www.waterfootprint.org](http://www.waterfootprint.org)).
30. The World Bank ([www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)).