بسمه تعالی

ردپای آب(آب سبز، آبی و خاکستری) از مرحله تولید تا مصرف و شاخصی از تأثیر الگوی مصرف ملل

"مجموعه گزارشات پژوهشی شماره ۵۰ یونسکو-۲۰۱۱"

ترجمه و گردآوری: افسون اژدری –کارشناس فناوری محیط زیست

چکیده

منابع آبی هر کشور در سه بخش کشاورزی، صنعت و شرب مصرف می شود .اما این میزان مصرف منابع داخلی، بیانگر کل نیاز آبی یک ملت در رابطه با الگوی مصرفی آنها نیست .واقعیت اینست که با واردات و صادرات بین المللی کالاها، مبادلات آب به فرم مجازی صورت می گیرد .لذا نیاز به شاخصی داریم تا بتوان بر مبنای الگوی مصرفی مردم، نیاز واقعی هر کشور را به منابع آبی محاسبه نمود .بدین منظور" مفهوم رد پای آب" یا" میزان آب مصرفی پایه "در سال ۲۰۰۲ معرفی گردید که تحت تأثیر اقلیم هر منطقه، میزان تولیدات و واردات کالا در (Water Footprint) هر کشور، الگوی مصرفی مردم، عملیات کشاورزی و راندمان کاربرد آب در هر کشور متغیر است.

محصولات مختلف کشاورزی، دامی و صنعتی به عنوان شاخصی از حجم آب مورد نیاز در ارتباط با مصرف کشور، می تواند در اخذ WF برآورد تصمیمات مهم در راستای جبران کمبود منابع آبی، تعیین سهم آب آبی و آب سبز در تولید محصولات کشاورزی، تغییر در الگوی کشت، تغییر حجم صادرات و واردات محصولات با توجه به میزان مبادله آب مجازی و حفظ ذخایر آبی با واردات محصولات آب بر و عنایت به موضوع خودکفایی کشور موثر واقع گردد.

- **شاخص ردپای آب (معرفی و تعریف)**

ردپای آب شاخصی است برای نشان دادن حجمی از آبی که به طور مستقیم یا غیر مستقیم برای تولید کالا و یا ارائه هرگونه خدمات به مصرف می رسد. این عدد شامل مجموع آب مصرف شده در طی فرآیندهای زنجیره تولید[۲] یک محصول خواهد بود .همچنین مقدار این شاخص در مقیاس فردی[۱] یا اجتماعی[۲] برابر با کل مقدار آبی است که آن فرد بهطور مستقیم یا غیر مستقیم و از طریق مصارف گوناگون صرف می کند. لازم به ذکر است که این شاخص در حالت اول به صورت مترمکعب برای هر واحد از محصول و در حالت دوم به صورت متر مکعب در سال به ازای فرد یا اجتماع مورد نظر بیان و ارائه می شود.

مصارف غیرمستقیم آب، شامل حجم آبی است که برای تولید یک محصول یا ارائه خدمات برای مصارف یک فرد یا اجتماع، به مصرف می رسد .ردپای آب برای یک فعالیت تجاری و یا اقتصادی نیز شامل آبی است که به طور مستقیم در فرآیند تولید آن مورد استفاده قرار می گیرد، بعلاوه آبی که به طور غیر مستقیم و در طول زنجیره تأمین مواد اولیه مورد نیاز آن به مصرف

[1] - Individual water footprint

[2] - National water footprint

میرسد. اما در تمامی موارد فوق مصارف آب به طور کلی در قالب حجم آبی است که طی فرآیند مورد نظر، تحلیل رفته[3] و یا آلوده[4] م یگردد و یا به عبارت دیگر از دسترس خارج می گردد .در صورتی که این شاخص به صورت مقدار آب به ازای واحد محصول در بخش صنایع و یا خدمات مورد نیاز باشد، برخلاف بخش کشاورزی که میزان آب مورد نیاز در ازای واحد وزن محصول به عنوان معیار قرار گرفته در این بخش مقدار آب مورد نیاز برای تولید واحد ارزش افزوده در صنعت مورد نظر ملاک خواهد بود.

تاریخچه

مفهوم ردپای آب به عنوان شاخصی از کمیت، زمان و مکان مصرف آب شیرین، در سال ۲۰۰۲ توسط هاکسترا ارائه گردید .این مفهوم پس از انجام اصلاحاتی در روش های برآورد و محاسبه، در مجموعه ای از انتشارات مؤسسه IHE یونسکو به عنوان یک شاخص قابل اتکا معرفی شد. همچنین در سال ۲۰۰۴، گزارشی از سوی همان مؤسسه، پیرامون مفاهیم و روش های محاسبه این شاخص در سطوح مختلف به همراه اعداد و ارقام محاسبه شده آن برای کشورهای مختلف منتشر گردید .از سوی دیگر همکاری بین مؤسسات راهبر جهانی در این زمینه، منتهی به تاسیس شبکه ردپای آب، در سال ۲۰۰۸ شده است که هدف آن هماهنگ کردن تلاش ها برای توسعه بیشتر و انتشار دانش در مورد مفاهیم، روش ها و ابزارهای مرتبط با این شاخص است. توسعه این شاخص را می توان، در سیر تحولات مدیریت منابع آب، به پارادایم جدید مدیریت منابع آب و محدوده زمانی تحولاتی که پس از اهمیت یافتن روابط میان آب و غذا، صورت گرفت، نسبت داد. پیش از مفهوم ردپای آب نیز ، مفاهیمی از قبیل آب مجازی به دنبال پررنگ ساختن ارتباط میان الگوی غذایی افراد یک جامعه و میزان آب مصرفی آن ها و در اویل دهه ۰۹۹۱ شکل گرفتند .آب مجازی، تنها مفهومی بود که بیان کننده محتوای آب (عمدتاً محصولات کشاورزی) بوده و ابعادی از قبیل زمان و مکان و نحوه مصرف این آب را شامل نمی شد، **اما ردپای آب مفهومی مشابه و گسترده تر از آب مجازی است**، چرا که این مفهوم ابعاد مکانی و زمانی را به مفهوم آب مجازی می افزاید، بنابراین ارتباطی میان فرموله کردن سیاست گذاری ها و ارزیابی اثرات آن به حساب می آید. در واقع مفهوم ردپای آب در مقیاس یک محصول همان مفهوم آب مجازی را تداعی می کند اما در مقیاس های بزرگتر، از آب مجازی به عنوان ابزاری برای محاسبه استفاده می کند .

شاخص ردپای آب در قیاس با شاخصی تحت عنوان ردپای اکولوژیک که در نیمه دوم دهه ۰۹۹۱ مطرح گردید ، توسعه یافت. این شاخص تعیین کننده مقدار زمین اکولوژیک مورد نیاز برای تأمین مایحتاج افراد ساکن در یک

[3] - Consumed

[4] - Polluted

محدوده جغرافیایی است. این زمین اکولوژیک شامل سطح مورد نیاز برای سکونت، فعالیت های کشاورزی، دام پروری، شیلات ،صنایع و فضای سبز می باشد .هدف از طرح مفهوم ردپای اکولوژیک یافتن شاخصی برای نشان دادن میزان استفاده انسان ها از ظرفیت های اکولوژی کره زمین بوده است. ردپای کربن نیز شاخص یاست که بعدها به منظور ایجاد توانایی در کمی سازی میزان دخالت هریک از فعالیت های بشر در تغییرات اقلیم کره زمین فرموله گردید. اما هدف از مطرح کردن ردپای آب، جستجو برای ابعاد مختلف منابع آب جهانی بوده است. برای این منظور نقطه شروع بررسی، ناخشنودی مدیران از محدود بودن قوانین مدیریت منابع و یا محدود بودن قوانین آن ها به حوضه آبریز یک رودخانه بوده است. همچنین در سیستم مدیریت منابع آب قدیمی همواره این حقیقت که تبادلات بی نالمللی کالاها بر الگوی جهانی مصرف آب مؤثر است، نادیده گرفته می شده است .از سوی دیگر می توان گفت که مقدار آبی که در فرآیند تولید کالاها به مصرف می رسد، معمولاً در برابر آب مصرفی واقعی آن کالا بسیار ناچیز است (البته به جز محصولات کشاورزی که عمده آب مصرفی آ نها در فرآیند کشت مصرف می شود).

شاخص ردپای آب نیز همانند سایر شاخص ها، سبب پیدایش مفاهیم متفاوتی همراه با خود شده است. مفاهیم برگرفته از شاخص ردپای آب عمدتاً مفاهیمی مدیریتی در حوضه منابع و مصارف آب، هستند بدین معنی که این مفاهیم را می توان برای برنامه ریزی های منابع و مصارف آب در یک کشور یا محدوده جغرافیایی، به کار بست .همچنین ابزارهای تعریف شده به کمک این شاخص، می توانند از طریق کنترل جابه جایی های آب در سطح بین المللی چه به صورت حقیقی و چه به صورت مجازی و یا از طریق ایجاد تغییراتی در الگوی مصارف افراد یک جامعه میزان آب مصرفی آن جامعه را با رعایت اصول توسعه پایدار، تا حد ممکن کاهش دهند.

استاندارد ردپای جهانی آب

استاندارد ردپای جهانی آب که محصول تلاش مشترک «شبکه ردپای آب» و همکاران آن و همچنین پژوهشگران دانشگاه «تورنت» در کشور هلند می‌باشد، به پشتوانه حمایت شرکتهای عمده، تصمیم‌سازان دولتی، سازمانهای غیر دولتی و پژوهشگران دانشگاهی در زمینه‌های مرتبط، گام ارزشمندی را به سمت حل مشکلات رو به تزاید آب در جهان برداشته است.

استفاده مستقیم و غیرمستقیم از آب

انسان روزانه مقادیر زیادی آب را برای نوشیدن، پخت و پز و شستشو مصرف می‌کند. اما مقادیر مصارف غیرمستقیم آب، برای تولید نیازهای بشر، مانند مواد اولیه خوراکی، کاغذ، لباس و غیره، بسیار بیشتر از مصارف مستقیم آن است. ردپای آبWF نمادی است که میزان مصرف مستقیم و غیرمستقیم آب را برای یک تولیدکننده یا مصرف‌کننده ارائه می‌دهد. «ردپای آب»

عبارت است از حجم کل آب شیرینی که یک فرد، یک جامعه یا یک سازمان برای تولید محصول یا ارائه خدمت خود مصرف می‌نماید.

رابطه بین مصارف عمومی جامعه و مصرف آب

بنا به گفته «پروفسور هوکسترا» مبدع مفهوم ردپای آب و جذابیت مفهوم ردپای آب، در این نکته اساسی نهفته است که مجموعه تاثیرات انسانی بر منابع آب شیرین را می‌توان متناظر با کل مصارف یک جامعه دانست و اجزایی از این تاثیرات انسانی همچون مشکلات ناشی از کمبود آب یا آلودگی منابع آب را باید در کل چرخه تولید و مصرف بررسی کرد. مشکلات مرتبط با آب، بطور تنگاتنگی با ساختار اقتصاد کلان گره خورده است. ردپای بخش عمده‌ای از آب مصرفی بسیاری از کشورها را باید در خارج آن کشور جستجو کرد. این کشورها مقادیر زیادی آب را در قالب محصولات مصرفی و خوراکی وارد می‌کنند. این امر باعث وارد آمدن فشار بر منابع آبی کشورهای صادر کننده می‌شود، کشورهایی که عمدتاً از ضعف حکمرانی خردمندانه بر منابع آبی و حفاظت آن رنج می‌برند. از این دیدگاه کلان، نه تنها حکمرانان، بلکه مصرف کنندگان عادی، تجار و سازمانهای اقتصادی و کلیه اعضای یک جامعه مدنی، می‌توانند در مدیریت بهتر منابع آبی نقش آفرین باشند.

معرفی برخی آمار و اطلاعات:

- تولید یک کیلوگرم **گوشت گاو** به ۱۵۰۰۰ لیتر آب نیازمند است (۹۳٪ سبز ، ۴٪ آبی و ۳٪ خاکستری). این مقدار دارای انحراف از میانگین بالایی در نقاط مختلف است. مقدار دقیق آن در هر منطقه به عوامل مختلفی همچون سیستم تولید محصول و ترکیب و منشا تغذیه دام وابسته است.
- ردپای آب ۱۵۰ گرم **برگر سویا** در کشور هلند ۱۶۰ لیتر است. یک برگر گوشت گاو در همین کشور نیازمند ۱۰۰۰ لیتر آب است.
- ردپای آبی کل **مصارف یک فرد چینی** ۱۰۷۰ متر مکعب در سال است که در حدود ۱۰٪ آن از خارج تامین می‌شود.
- **ژاپن** با دارا بودن ردپای آبی سرانه ۱۳۸۰ مترمکعب در سال، حدود ۷۷٪ این نیاز آبی را از خارج مرزهای خود تامین می‌کند.
- ردپای آبی **شهروندان آمریکایی** ۲۸۴۰ مترمکعب در سال به ازای هر فرد است که ۲۰٪ آن وارداتی است. حوضه آبریز رودخانه یانگ تسه در چین بیشترین سهم را در تامین این مقدار داراست.
- برای تهیه یک فنجان قهوه ۱۴۰ لیتر و برای یک لیتر شیر ۱۰۰۰ لیتر آب نیاز است.

ردپای عمومی آب در جهان در دوره زمانی ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵ در حدود ۹۰۸۷ گیگامترمکعب در سال بوده است (به تفکیک ۷۴٪ سبز، ۱۱٪ آبی و ۱۵٪ خاکستری). سهم محصولات کشاورزی از این مقدار ۹۲٪ بوده است.

بر اساس مطالعاتی که بر روی شاخص آب مصرفی پایه کشورهای جهان در دوره (۲۰۰۱-۱۹۹۷) انجام شده متوسط جهانی WF ۷۴۵۰گیگا متر مکعب در سال برآورد شده است که به طور متوسط برای هر نفر ۱۲۴۰ متر مکعب در سال می باشد. WF ایران برای دوره (۱۹۹۹-۱۹۹۵) ۱۴۷۵ متر مکعب در سال به ازاءهر نفر برآورد شده است.

❖ **کمبود آب** بر زندگی ۲/۷ میلیارد نفر، به مدت حداقل یک ماه در هر سال اثرگذار است.

محتوی مطالب و ضمایم:

ضمیمه ۱: ردپای آب از تولید ملی (میلیارد متر مکعب در سال)

ضمیمه ۲: جریان آب مجازی مربوط به تجارت در محصول، حیوانات و تولیدات صنعتی، در کشور(میلیارد متر مکعب در سال)

ضمیمه ۳: جریان بین المللی آب مجازی در هر رده محصول(میلیارد متر مکعب در سال)

ضمیمه ۴: صرفه جویی در آب ملی مربوط به تجارت محصولات کشاورزی و صنعتی در کشور(میلیارد متر مکعب در سال)

ضمیمه ۵: صرفه جویی در آب جهانی مربوط به تجارت محصولات کشاورزی و صنعتی، در هر محصول (میلیارد متر مکعب در سال)

ضمیمه ۶: متوسط رد پای آب در هر تُن کالا در کشور، وزن بر اساس منشاء(ردپای آب در هر مترمکعب در تُن)

ضمیمه ۷: رد پای سرانه آب مصرفی ، نشان داده شده توسط کالاها(مترمکعب در سال در محصول)

ضمیمه ۸: رد پای سرانه آب مصرفی، بر اساس طبقه بندی عمده مصرف، داخلی و جزء خارجی(مترمکعب در سال در محصول)

ضمیمه ۹: کل رد پای آب از مصرفی ملی(میلیارد مترمکعب در سال)

ضمیمه ۱۰: رد پای آب مصرفی ایالات متحده از محصولات کشاورزی و تولیدات صنعتی، مشخص شده در حوضه رودخانه(مترمکعب در سال)

ضمیمه ۱۱: چشم انداز جهانی رد پای آب از منظر مصرف ملی : نقشه ها برای کشورهای انتخاب شده.

کسری جهانی آب، پدیده ای است که از سه برابر شدن تقاضای آب ظرف نیم قرن گذشته نشأت می گیرد.برآورد میزان آب مجازی در محصولات مختلف، آگاهی مردم را نسبت به آب افزایش میدهد. کشاورزی به عنوان اصلیترین منبع تأمین مواد غذایی و آب به عنوان مهمترین عامل محدود کننده در توسعه بخش کشاورزی، اهمیت اقتصادی منابع آبی را بسیار تعیین کننده نموده است. توزیع غیر یکنواخت یا ناهمسان آب در مکان و زمان و تلاش کشورها در تأمین امنیت غذایی خود، باعث شده که

مسأله آب برای تولید غذا به یک مسأله بین المللی تبدیل شود. پیوند بین آب و غذا بسیار محکم است. هریک از ما در روز چیزی حدود ۴ لیتر آب به اشکال مختلف مصرف می کنیم، اما تولید غذایی که روزانه صرف میشود به ۲۰۰۰ لیتر آب –معادل ۵۰۰ برابر بیشتر از آبی که روزانه می نوشیم– نیاز دارد. با این دیدگاه کل آبی که در یک کشور مصرف می شود، میزان دقیقی از تخصیص منابع جهانی آب به آن کشور نیست، زیرا با واردات محصولات مختلف به کشور، حجم آب مجازی مورد نیاز برای تولید محصولات به منابع آبی داخل کشور اضافه میشود و بالعکس. بنابراین جمع آب مصرفی کشور و واردات خالص آب مجازی (پس از کسر آب مجازی صادراتی کشور)، شاخصی واقعی از مصرف آب در کشور است که آب مصرفی پایه (water footprint) کشور اطلاق میشود. هوکسترا و هانگ (۲۰۰۲) با معرفی شاخص WF توانستند اطلاعات مفیدی را در ارتباط بین الگوی مصرفی افراد و به دنبال آن میزان آب مصرفی در تولید محصولات مختلف، مبادلات جهانی آب و مدیریت منابع آبی، ارائه دهند، زیرا شاخصهایی که تا قبل از WF مورد بررسی قرار می گرفت، بر مبنای میزان تولیدات یک کشور بود و این شاخص نمی توانست نیاز واقعی یک کشور را به منابع آبی نشان دهد.

ارزش اقتصادی آب

تأمین غذای جمعیت رو به رشد، نیاز به استفاده بیشتر منابع آب دارد ، لذا بخشی از امنیت غذایی کشور را می توان با واردات مواد غذایی به کشور تامین نمود.گرچه این راه حل موجب وابستگی کشورها شده و از خودکفایی غذایی آنها می کاهد، اما ضرورت تخصیص بهینه منابع محدود به ویژه منابع آب به عنوان یکی از مهمترین عوامل در تولید محصولات کشاورزی کاملا احساس می شود.

مفهوم آب مجازی

هوکسترا و چاپاگین(۲۰۰۷)، مفهوم WF و آب مجازی را به هم پیوند می دهند، چون اولین گام در تعیین WF هر کشور، محاسبه جریانهای ورودی و خروجی آب مجازی آن کشور است. آلن (۱۹۹۳–۱۹۹۶–۱۹۹۴) در ارتباط بین آب، غذا و مبادلات آنها، میزان آب مصرفی برای تولید کالا را با عنوان "آب مجازی" تعریف نمود. به عبارت دیگر کل آبی که مصرف می شود تا یک واحد از کالاها (اعم از کشاورزی و غیر کشاورزی) تولید شود. آب مجازی، آبی است که به فرم مجازی در محصول نهفته است. محققین مختلفی (هوکسترا و هانگ(۲۰۰۲)، هوکسترا(۲۰۰۳)، چاپاگین و هوکسترا(۲۰۰۳) پژوهش گران مؤسسه مهندسی هیدرولیک در هلند ، رینالت(۲۰۰۳)، زیمر و رینالت(۲۰۰۳)، فریچر و همکاران(۲۰۰۴)، چاپاگین و همکاران(۲۰۰۵)، چاپاگین(۲۰۰۶)، هوکسترا و چاپاگین(۲۰۰۷)) به بررسی تاثیر مبادلات بین المللی آب مجازی در ذخیره سازی منابع آب در سطح جهانی و تأمین امنیت غذایی در مناطق خاورمیانه، آفریقای شمالی و جنوبی پرداخته اند، زیرا این مناطق با کم آبی فیزیکی و اقتصادی شدیدی مواجه است(آلکامو و همکاران، ۲۰۰۰)

افزایش رقابت بر سر آب، نیاز به غذا برای جمعیت در حال رشد و افزایش کم آبی در بسیاری از نقاط جهان، برخی از دلایل مهمی هستند تا نگاهی داشته باشیم به اینکه به چه شیوه‌ای آب را در این سیاره و کشور خود مدیریت کنیم و چگونه نیازهای بشر در نظر گرفته شود.

بیشتر سطح کره زمین را آب فراگرفته (۱/۳۹میلیارد کیلومتر مکعب)، اما تنها ۲/۵ درصد آب‌های موجود در کره زمین شیرین است و مابقی آن در دریاها و اقیانوس‌ها قرار داشته و شور است؛ ضمن آنکه همه حجم آبهای شیرین به‌دلیل آنکه قسمت اعظم آن در یخچال‌ها و برف‌های دائمی قرار دارد قابل بهره برداری نیست.

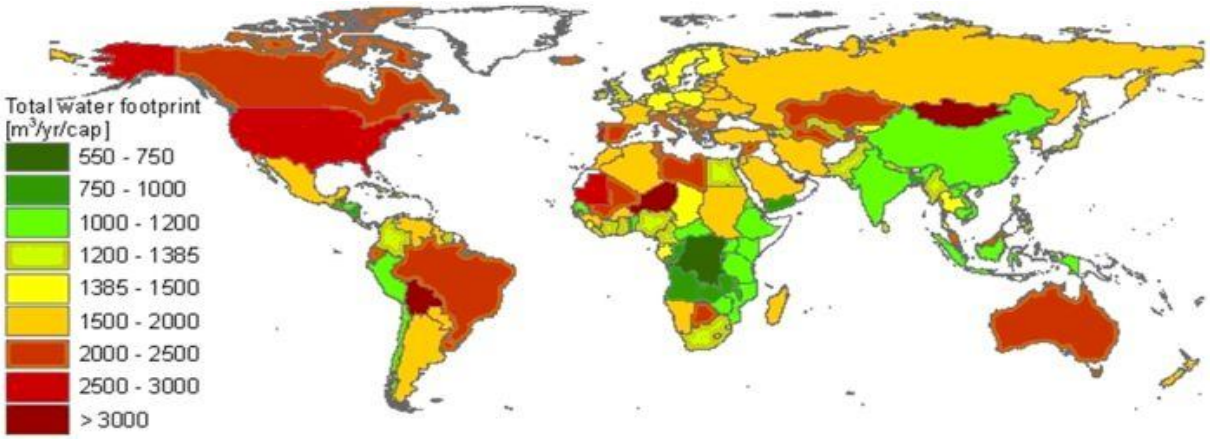
وابستگی انسان به آب نشان می‌دهد که نیاز آبی برای تولید غذا به‌مراتب بیشتر از نیازهای شرب است؛ ۲ تا ۴ لیتر آب در روز برای نیازهای بیولوژیک (آب آشامیدنی) در زنده ماندن انسان کافی است در حالی که ۱۰۰۰ مرتبه بیشتر برای تولید غذا آب لازم است. این دلیلی است که چرا مفهوم آب مجازی در زمانی که ما در مورد تولید غذا صحبت می‌کنیم اینقدر مهم است. بنا به تعریف: آب مجازی آبی است که در فرایند تولید یک محصول کشاورزی یا صنعتی نهفته است و به‌طور واقعی احساس نمی‌شود، بلکه به‌طور مجازی حس می‌شود. برای مثال برای تولید یک کیلوگرم گندم به هزار لیتر آب نیاز داریم. از این‌رو آب مجازی هر کیلوگرم گندم برابر هزار لیتر است. برای گوشت قرمز نیز به ۵ تا ۱۰ برابر بیشتر آب نیاز داریم.

انتقال آب مجازی بین کشورهای مختلف از طریق وارد یا صادر کردن محصولات و خدمات صورت می‌پذیرد. صادرات آب مجازی برای یک کشور یا ناحیه برابر با کل حجم آب مورد نیاز برای تولید اجناس صادراتی است. از طرف دیگر واردات آب مجازی یک کشور یا ناحیه برابر با حجم آب مرتبط با واردات کالا یا خدمات است. از این دیدگاه برای یک کشور محصولات وارداتی می‌تواند منبع آبی باشد که از طریق آن به‌طور محلی دسترسی به منابع آبی امکان‌پذیر می‌شود.

این‌رو ما باید به‌دنبال یافتن ابزارهای اندازه‌گیری استاندارد و روش‌هایی مطمئن برای بررسی مقادیر و متغیرهای شرکت‌کننده در تجارت آب مجازی باشیم.

گفتنی است که از آنجایی که بحث آب مجازی علاوه بر محصولات زراعی در مورد فراورده‌های دامی و صنعتی نیز مطرح است لذا بایستی نگرشی جدی به وضعیت مصرف آب در بخش‌های مختلف داشته باشیم. در کشورهای با درآمد کم و متوسط مصرف آب ۱۰درصد، ۸درصد و ۸۲ درصد به‌ترتیب در بخش‌های صنعت، شرب و کشاورزی است در حالی که در کشورهای با درآمد بالا مصرف آب ۵۹ درصد، ۱۱درصد و ۳۰درصد به‌ترتیب در بخش‌های صنعت، شرب و کشاورزی است. بنابراین با بررسی وضعیت میزان پیشرفت کشورها در زمینه رشد اقتصادی و ارتباط آن، استفاده از آب برای مصارف شهری و صنعتی مشاهده می‌شود که همبستگی بالایی بین این دو وجود دارد.

نقشه ردپای آب (footprint Water) میانگین سال های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۵



Mekonnen and Hoekstra ۲۰۱۱

سطوح مختلف و دسته بندی های مرتبط

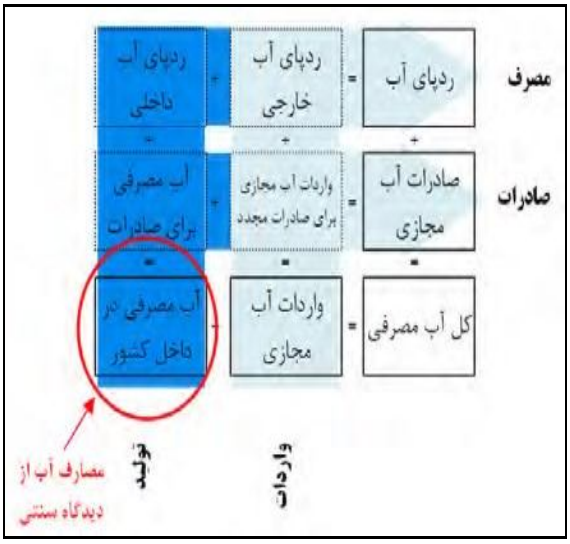
شاخص ردپای آب می تواند، علاوه بر محصولات کشاورزی و صنعتی برای هر گروه از مصرف کنندگان (فرد یا اجتماعاتی از قبیل خانواده، اهالی یک روستا، شهر ویا کشور) و یا هر گروه از تولیدکنندگان (شامل مجامع عمومی و خصوصی و به طور کلی واحدهای اقتصادی و تجاری)، محاسبه گردد. این شاخص در مقیاس فردی نمادی کامل و گویا از الگوی مصرف فرد می باشد، چرا که به کمک این شاخص می توان آب معادل کلیه مواد غذایی، صنعتی و خدماتی را که یک فرد مصرف می کند به نمایش گذاشت. شاخص ردپای آب فردی یا اجتماعی شامل دو مؤلفه اصلی ردپای مستقیم و غیر مستقیم آب می باشد. ردپای مستقیم آب شامل مصارف مستقیم و محسوس آب از قبیل مصارف آب خانگی و فضای سبز برای فرد یا جامعه مربوطه می شود، این در حالی است که ردپای غیر مستقیم آب شامل آب مصرف شده در زنجیره تولید و تأمین کالاها و خدمات مصرفی آن فرد یا جامعه است.

شاخص ردپای آب در سطح فردی، از ضرب ردپای آب محصولات و خدمات مصرفی فرد یا اجتماع در میزان مصارف آن محصول یا خدمات و محاسبه مجموع این اعداد به دست می آید. میانگین ردپای افراد ساکن در محدوده مرزهای مشخص، ردپای آب آن جامعه نامیده می شود که پرکاربردترین آن **ردپای آب ملی** (National Water footprint) نام داشته و به صورت سرانه (مترمکعب/نفر/سال) بیان می شود. این شاخص بیانگر حجم آب مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات مورد نیاز مردم ساکن آن کشور خواهد بود.

شاخص ردپای ملی آب معمولاً برای یک کشور از طریق کم کردن مقدار آب مجازی خارج شده از کشور مورد نظر از کل آب مصرف شده در داخل آن، بعلاوه مقدار آب مجازی وارد شده به آن و از طریق رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$WFP=IWFP+EWFP \qquad (۱)$$

IWFP حجم آب مصرف شده از منابع داخلی منهای آب مجازی خارج شده از کشور در قابل صادرات که به کمک رابطه (۲) محاسبه می شود .



$$IWFP=AWU+IWW+DWW-VWEdom \qquad (۲)$$

AWU : آب مصرفی بخش کشاورزی شامل بارش مؤثر و آب آبیاری

IWW : آب مصرفی بخش صنعت

DWW : آب مصرفی بخش خانگی VWEdom : آب مجازی صادر شده EWFP : حجم آب مصرف شده از منابع سایر کشورها که معمولاً به صورت آب مجازی وارد می شود منهای حجم آبی که مجدداً به شکلی دیگر از کشور صادر میشود. این پارامتر به کمک رابطه (۳) محاسبه می شود.

شکل شماتیک ساختار محاسبه ردپای آب ملی

$$EWFP=VWI-VWE\ re\text{-}export \qquad (۳)$$

VWI : آب مجازی وارد شده به صورت محصول

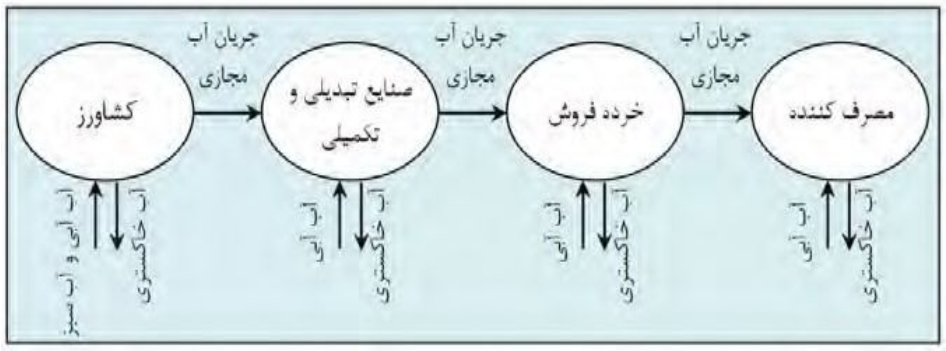
VWE re-export : آب مجازی که مجدداً صادر می شود(به عنوان مثال در کشورهایی که وارد کننده پنبه و صادر کننده منسوجات هستند)

در نهایت پس از محاسبه و جمع بندی تمامی مؤلفه ها و پارامترهای فوق، شاخص ردپای ملی آب، برای یک کشور در قالب رابطه (۴) و به صورت سرانه بیان می شود .

WFP pc= WFP/total population (۴)

ردپای تجاری آب شامل دو مؤلفه مهم ردپای آب در مراحل کاربری و ردپای آب در مراحل تأمین می باشد، که هر یک به نوبه نیز شامل سه قسمت **ردپای آب آبی، سبز و خاکستری** می باشند .

بسیاری از فعالیت های تجاری به خصوص صنایع و خدماتی که خود شامل فعالیت های کشاورزی نبوده و از محصولات کشاورزی استفاده می کنند، ردپای آب غیر مستقیم بسیار بیشتری نسبت به ردپای مستقیم خود می باشند زنجیره تولید و تأمین که گاه به آن زنجیره آب مجازی نیز گفته می شود، زنجیر های از مراحل مختلف یا فرآیندهاست که در یک نمونه معمول آن تولید محصولات اولیه (محصولات کشاورزی) در یک سر زنجیره و مصرف کننده ها در انتهای دیگر زنجیره جای می گیرند، و بسته به نوع محصول میان این دو انتها واسطه هایی از قبیل صنایع تبدیلی و تکمیلی و خرده فروشان، توزیع کنندگان و ... قرار می گیرند که هر یک به نوبه خود ردپای آب خود را داشته و به محتوای آب محصول نهایی می افزایند. در شکل زیر نمونه ای از یک زنجیره تولید و اجزای آن نشان داده شده است .



زنجیره تولید یک محصول و اجزای تشکیل دهنده آن

آب سبز، آب آبی و آب خاکستری

اولین بار مفهوم آب سبز توسط فالکنمارک (۱۹۹۵) معرفی گردید تا بدین طریق بتوان آب سبز را از منابع آب آبی تفکیک نموده و نقش آب را در تولیدات کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک بهتر نشان داد (ساوانیجه، ۲۰۰۰). آب سبز به حجم آبی اطلاق میشود که در مناطق غیر اشباع خاک به صورت رطوبت خاک ذخیره میشود. این منبع آبی در مناطق دیم به صورت موثر صرف تعرق گیاهی می شود و یا از سطح خاک و آبهای آزاد به صورت تبخیر از

دسترس خارج میگردد (اوبوبی و همکاران(۲۰۰۰)). آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی (دریاچه ها و رودخانه ها)، آب آبی را تشکیل میدهند (رینگرزما، ۲۰۰۳). آب آبی برای مصارفی نظیر آبیاری مزارع، بخشهای شرب و صنعت مصرف می شود. حجمی از آب که از مخازن پشت سدها، سطح مزارع فاریاب و کانال های انتقال آب تبخیر می شود نیز به عنوان آب آبی در نظر گرفته میشود. بارندگی منشا آب سبز و آبی است، ۸۰٪ زمینهای کشاورزی در جهان زیر کشت دیم بوده و آب سبز ناشی از بارندگی در کشاورزی، منبع تولید بیش از ۶۰ درصد غذای جهان است (فائو، ۲۰۰۳، ابوبی و همکاران، ۲۰۰۵). در جدول زیر به مقایسه منابع آب آبی و سبز پرداخته شده است. استفاده از منابع آب سبز تغییری در سیستم هیدرولوژی ایجاد نمی کند و اثر مخربی بر محیطزیست ندارد. در مقابل، هزینه فرصت بهره برداری از آب آبی در کشاورزی به دلیل نیاز به امکانات نگهداری، شبکههای انتقال و توزیع آب بیشتر از آب سبز است (ابوبی و همکاران، ۲۰۰۵). اما همین قابلیت انتقال و توزیع، مدیریت آنرا ساده تر کرده و گزینه های بهره برداری از آنرا (کشاورزی، صنعتی و خانگی) افزایش داده است. در حالیکه تنها راه بهره برداری از آب سبز، تولید محصولات دیم است. در سال- های اخیر با ظهور مفهوم آب مجازی و درک نقش تجارت موادغذایی در توزیع مجدد منابع آب و شناسایی استعداد مناطق در تولید محصولات با شاخص های کمی جدید، مدیریت آب سبز آسانتر شده و در بهره برداری بهینه از آن تأکید شده است (سهرابی، ۱۳۸۶).

جدول ویژگی های آب آبی و سبز(مأخذ: یانگ و همکاران، ۲۰۰۵)

طبقه بندی انواع آب	آبی	سبز
منابع آب	رودخانهها، دریاچهها، تالابها، مخازن آب پشت سدها، لایههای آبدار زیرزمینی	حجم آبی که در لایههای غیر قابل اشباع خاک ذخیره شده و به مصرف تبخیر- تعرق گیاهی میرسد
قابلیت جابجایی	دارد	ندارد
امکان جایگزینی منبع آب	دارد	ندارد
مصارف جایگزین	زیاد	کم
تجهیزات لازم برای انتقال	نیاز دارد	نیاز ندارد
هزینه مصرف	زیاد	کم
اثر روی سیستم هیدرولوژیکی	قابل توجه	کم اهمیت
تاثیرات مضر بر خاک	قابل توجه(مانند اثر شوری)	کم اهمیت

مؤسسه بین المللی مدیریت آب (۲۰۰۶)، حجم ذخایر آب سبز را منبع بزرگتری در مقایسه با آب آبی برشمرده است. متوسط بارندگی سالانه جهان ۱۱۰۰۰۰ کیلومتر مکعب برآورد شده است که حدود یک سوم آن به آبهای زیرزمینی، رودخانه ها و دریاچه ها (آب آبی) می پیوندد واز این حجم، تنها حدود ۱۲۰۰۰ کیلومتر مکعب آن به مصرف بشر می رسد. در حالیکه دوسوم باقیمانده به صورت رطوبت خاک ذخیره شده و یا در اثر عمل تبخیر به اتمسفر بازمیگردد (آب سبز) (اوبوبی و همکاران، ۲۰۰۵).

آب خاکستری، به حجم آبی اطلاق میشود که طی فرایند تولید محصولات آلوده شده و کیفیت اولیه خود را از دست داده است. این آبها وارد سیستم های طبیعی آبی میشود. میزان آبی که لازم است تا بتوان کیفیت آبهای آلوده را به سطح استاندارد و مطلوب رساند، معادل حجم آب مجازی خاکستری در نظر گرفته می شود. امروزه علاوه بر تشدید بحران کم آبی در جهان، مسئله آلودگی منابع آبی نیز روزبه روز شدت بیشتری می-یابد. بخش کشاورزی به عنوان مهمترین عامل آلاینده منابع آب به شمار میرود. برآوردهای جهانی حکایت از آن دارد که هر سال حدود ۴۵۰ کیلومترمکعب فاضلاب به منابع آبی تخلیه می شود. برای رقیق سازی این مقدار فاضلاب، به گونه ای که بتوان مجدداً از آب استفاده نمود، به ۶۰۰۰ کیلومترمکعب آب – معادل ۶۶,۶ درصد کل آبهای شیرین سالانه کره زمین – نیازمندیم (آب و محیطزیست، ۱۳۸۰، صفحات ۴۱۴-).

در سال ۱۴۰۰ حجم آبهای برگشتی از مصارف گوناگون حداقل ۱,۴ برابر وضع موجود خواهد بود. این رقم، در خصوص پسابهای شهری و صنعتی حدود ۲,۷ برابر خواهد شد. به عبارت دیگر، در سال ۱۴۰۰ مجموع آبهایی که به دلایل مختلف آلوده شده و به پیکرههای آبی برمیگردند به حدود ۳۰ درصد منابع آب تجدیدشونده بالغ خواهد شد (گزارش مدیریت منابع آب و توسعه پایدار، ۱۳۸۷).

ردپای ملی آب برای برخی از کشورهای به عنوان نمونه ای از گروه های ذکر شده.

کشور	ردپای ملی آب
ایالات متحده آمریکا	(حداکثر) ۲۴۸۰
چین	(حداقل) ۷۰۰
ایران	۱۶۴۰
متوسط جهانی	۱۲۴۰
پرتغال (دسته اول)	۲۲۶۰
ایتالیا (دسته اول)	۲۳۳۰
یونان (دسته اول)	۲۳۹۰

کشور	ردپای ملی آب
انگلستان (دسته دوم)	۱۲۴۵
هلند (دسته دوم)	۱۲۲۰
دانمارک (دسته دوم)	۱۴۴۰
استرالیا (دسته دوم)	۱۳۹۵
ایالات متحده آمریکا (دسته سوم)	۲۴۸۰
کانادا (دسته سوم)	۲۰۵۰

ردپای آب ملی برای کشور ایران

جدول بالا ردپای آب ایران و برخی از کشورهای همسایه آن را نشان می دهد .این جدول نمایشگر ردپای آب مصارف کشورهای ذکر شده و میزان اثر این مصارف بر منابع آب داخلی و خارجی آن هاست. این سهم به صورت درصد در نمودار زیر(۱) نشان داده شده اند-

Internal Water footprint
External Water footprint

نمودار ۱– درصد ردپای آب داخلی و خارجی برای کشور ایران و برخی از کشورهای همسایه

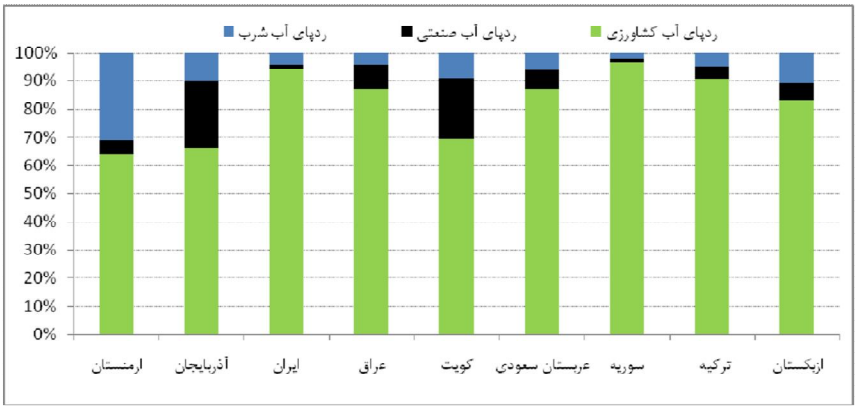
نمودار نشان می دهد که کشورهایی مانند عربستان و کویت که با کمبود شدید منابع آب مواجه هستند تا چه حدی برای تامین آب حقیقی و مجازی خود وابسته به سایر کشورها هستند. این نمودار نشان می دهد که در سال ۲۰۰۴ کشورهای ایران، آذربایجان، ترکیه و عراق کم و بیش در تامین آب مورد نیاز خود وضعیت مشابهی داشته اند.

جدول – بخش های ردپای آب ملی برای ایران و برخی از کشورهای همسایه در قیاس با میانگین و حداکثر جهانی آن-۲۰۰۴

	ردپای آب شرب	ردپای آب کشاورزی			ردپای آب صنعتی			مجموع
		خارجی	داخلی	مجموع	خارجی	داخلی	مجموع	
ارمنستان	۲۷۹	۱۹۸	۳۷۹	۵۷۷	۱۱	۳۰	۴۲	۸۹۸
آذربایجان	۱۰۰	۱۶۱	۴۸۵	۶۴۵	۴	۲۲۸	۲۳۲	۹۷۷
ایران	۷۴	۲۸۳	۱۲۴۳	۱۵۲۷	۸	۱۶	۲۴	۱۶۲۴
عراق	۵۷	۱۳۵	۱۰۳۶	۱۱۷۱	۲۵	۸۹	۱۱۴	۱۳۴۲
کویت	۱۰۲	۷۴۱	۳۳	۷۷۴	۲۳۱	۷	۲۳۸	۱۱۵
عربستان سعودی	۷۸	۵۹۱	۵۰۸	۱۰۹۹	۷۷	۹	۸۶	۱۲۶۳
سوریه	۳۷	۱۷۶	۱۵۸۸	۱۷۶۴	۱۰	۱۵	۲۶	۱۸۲۷
ترکیه	۸۰	۲۰۵	۱۲۵۷	۱۴۶۲	۳۲	۴۱	۷۲	۱۶۱۵
ازبکستان	۱۰۹	۴۳	۷۷۱	۸۱۴	۹	۴۷	۵۶	۹۷۹

میانگین جهانی	۵۷	۱۶۰	۹۰۷	۱۰۶۶	۴۰	۷۹	۱۲۰	۱۲۴۳
حداکثر جهانی	۳۴۱	۱۳۹۸	۲۱۶۱	۲۱۷۶	۵۵۵	۶۰۹	۸۰۶	۲۴۸۳

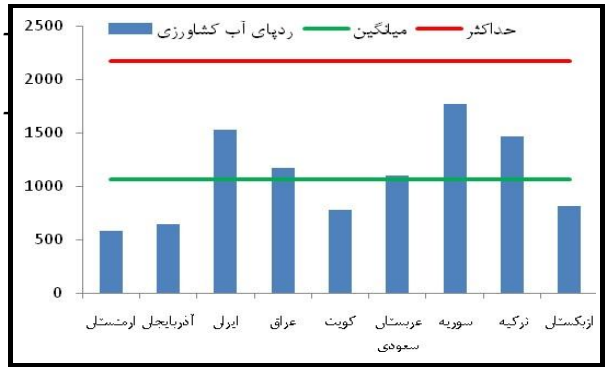
با توجه به قرار گیری ایران در کمربند خشک و نیمه خشک جهانی و همچنین پایین بودن سطح کاربرد تکنولوژی در بخش کشاورزی آن، بالا بودن ردپای آب ملی آن (یا حداقل ردپای آب کشاورزی کشور) نسبت به مقادیر میانگین جهانی قابل حدس و پیش بینی است .اما از سوی دیگر پایین بودن سطح درآمد ناخالص ملی به کاهش ردپای آب در ایران منجر خواهد شد.



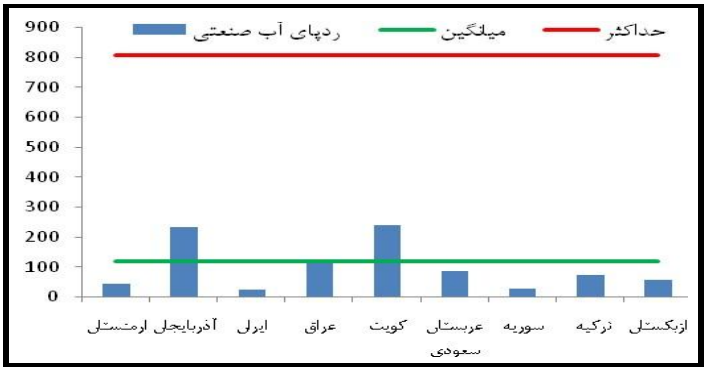
نمودار شماره ۲-*بخش‌های مختلف ردپای آب ملی برای کشور ایران و برخی از کشورهای همسایه (۲۰۰۴)* [۱]

نمودار شماره ۲ نشان می‌دهد که کشورهای ایران، ترکیه و سوریه در مقایسه با سایر کشورهای همسایه سهم بیشتری برای بخش کشاورزی قائلند که بررسی میزان تولید و سطح زیر کشت در این کشورها در کنار این نمودار بیانگر عملکرد بخش کشاورزی خواهد بود. توضیح اینکه بالا بودن سهم ردپای آب

صنعتی در کشوری مانند کویت نشان دهنده توسعه صنعتی آن نیست.بلکه با بررسی مقادیر حجمی این سهم آب نتیجه نشان دهنده سهم بیشتر محصولات صنعتی در سبد مصارف این کشور است. نمودارهای موجود، مقادیر حجمی ردپاهای آب را در کشورهای مورد بررسی و در مقایسه با مقادیر میانگین و حداکثر جهانی نشان می دهند .



نمودار ردپای آب کشاورزی برای کشور ایران و برخی از کشورهای همسایه



نمودار ردپای آب صنعتی برای کشور ایران و برخی از کشورهای همسایه

نتیجه گیری: انجام ارزیابی های جامع ردپای آب ضروری است. انجام این ارزیابی ها کمک می کند که سیاست های بهینه بین بخشی تدوین گردند.

آموزش عمومی در مورد صرفه جویی در سطوح مختلف بهبود یابد و سیاست های بهینه تخصیص آب در سطوح مختلف تدوین گردند.

در مجموع ردپای آب در زمینه های زیر کاربرد خواهد داشت:

- سیاستگذاری های منابع آب
- سیاستگذاری های مرتبط با بخش کشاورزی
- سیاست گذاری های بخش محیط زیست
- طرح الگوی تبادلات ملی و درون مرزی تولیدات صنعتی و کشاورزی

در سطوح خرد و درون مرزی استفاده از مفهوم کاهش اثرات ردپای آب، راهنمایی در جهت تدوین سیاست های بهینه کاهش ردپای آب خواهد بود. اما در سطوح کلان ترکیبی از سیاست های تجاری، کشاورزی و تجاری می توانند الگویی بهینه را برای کاهش ردپای آب و در خلال برنامه های طولانی مدت ارائه دهند. مفهوم آب مجازی محصول (کالا یا خدمات) به حجم آبی اطلاق میشود که در تولید آن محصول به کار رفته است (آلن، ۱۹۹۷؛ ۱۹۹۹؛ هوکسترا، ۱۹۹۸). **بر اساس این مفهوم، مبادله آب مجازی، حجم آب محاط شده در محصولاتی است که بین کشورهای مختلف مبادله می شود (هوکسترا، ۲۰۰۳؛ هوکسترا و هانگ، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵).** در مبادلات بین المللی محصولات، اگر این محصولات از مکانی با بهره وری آب بالا به مکانی با بهره وری آب پائین منتقل شوند، ذخیرهسازی منابع آبی در سطح جهانی صورت میگیرد (اوکی و کنائه، ۲۰۰۴، فریچر و همکاران، ۲۰۰۴، چاپاگین و همکاران،a ۲۰۰۶، یانگ و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین کشورها میتوانند با واردات محصولات آببر به جای تولید داخلی محصولات، منابع آبی خود را حفظ نمایند و این راه حلی برای کشورهای خشک و نیمه خشک که با کمبود منابع آبی مواجه هستند به شمار میرود (آلدایا و همکاران، ۲۰۰۸).

هدف از مطالعات در زمینه مبادلات آب مجازی به منظور توسعه بهره گیری از این مفاهیم راستای مدیریت بهینه منابع آبی در سطح کلان بوده است.. بدین منظور پیشنهاداتی ارائه می شود تا بتوان دیدگاه وسیعی در مورد مقوله آب مجازی و مفاهیم وابسته کسب نمود و از آن در تصمیم گیری های کشور بهره برد.

جهت بهتر کردن الگوی مصرف غذایی از مهمترین عوامل موثر در کاهش WF به شمار میرود. قیمت فرآورده های مختلف غذایی و اعمال یارانه به محصولات اثر مهمی در ترکیب غذایی جامعه را دارد. کنترل صادرات و واردات روی قیمت و از جهت فراوانی در مصرف کالا موثر است. اگر بتوان الگوی مصرفی مردم را به سمتی سوق داد که از محصولات و خدمات با آب مصرفی کمتر استفاده کنند، و یا کالاها و محصولات آب بر را از مناطقی با کاربری آب بالا به منطقه وارد کنیم و در عین حال این ترکیب بتواند نیازهای غذایی مطلوب را در جامعه تأمین کند، WF کشور کاهش می یابد. کاهش ضایعات محصولات مختلف از مرحله تولید تا مصرف و بهره گیری از تکنولوژی های نوین در بالابردن راندمان تولید محصولات که خود باعث کاهش WF کشور است.

منابع مورد استفاده:

۱- معرفی شاخص ردپای آب از مفاهیم تا کاربردها، رضا مکنون، استادیار دانشکده عمران و محیط زیست دانشگاه امیرکبیر تهران - حمید سهرابی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب دانشگاه امیرکبیر تهران، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران،۱۳ و ۱۴ اردیبهشت ماه ۱۳۹۲ ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۲- سهرابی.ر ،،تهیه مدل ریاضی محاسبه میزان بهینه استفاده از آب مجازی در تأمین آب مورد نیاز منطقه با لحاظ شرایط اقتصادی، اجتماعی و امنیت غذایی (مطالعه موردی: استان اصفهان)، آذر ،۸۶ دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

۳- چشم انداز جهانی بر مصرف منابع آبی: آب مصرفی پایه (Water footprint)، شاخصی از تأثیر الگوی مصرف ملل روی منابع آبی جهان،اعظم عربی،کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی، کارشناس شرکت مهندسین مشاور آبپوی، ناصر نیک نیا کارشناس ارشد سازه های آبی،کارشناس شرکت مهندسین مشاور آبپوی
۴- طراوتی، ح(مترجم). ۱۳۸۷. طرح امید آینده و محیطزیست. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
۵- سهرابی، ر. ۱۳۸۶. **تهیه مدل ریاضی محاسبه** میزان بهینه استفاده از آب مجازی در تأمین آب مورد نیاز منطقه با لحاظ شرایط اقتصادی، اجتماعی و امنیت غذایی. پایاننامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف.

۶- A.K. Chapagain and A.Y Hoekstra, "Water footprints of nations, Volume۱،۲," UNESCO-IHE Institute, Delft, the Netherlands, Water Education November ۲۰۰۴.

۷- A.Y. Hoekstra, "Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints," UNESCO-IHE Institute, Delft, the Netherlands, The Value of Water Research Report Series Research Report Series No. ۲۸., March ۲۰۰۸.

۸- Hoekstra. A.Y., A Comprehensive Introduction to Water Footprints, ۲۰۰۹.

۹- Erika Zarate, Maite Aldaya, and Derk Kuiper, "Water footprint application at different geographical scales," in *UNEP-Mandate Corporate Water Accounting Workshop*, New York, ۲۰۱۰.

۱۰- Hoekstra, A. Y. (Ed.). ۲۰۰۳. "Virtual water trade: processing of the international expert meeting on virtual water trade". Value of the Water Research Report Series No. ۱۲, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

۱۱- Hoekstra, A. Y., and. Hung, P.Q. ۲۰۰۲. Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of the Water Research Report Series No. ۱۱, UNESCO-IHE, Delft.

۱۲- Hoekstra, A. Y. and P.Q. Hung. ۲۰۰۵. Globalization of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade. Global Environmental Change ۱۵(۱):۴۵-۵۶

۱۳- Verkerk, M. P., Hoekstra, A. Y., and Gerbens-Leenes, P. W. ۲۰۰۸. Global water goverance: conceptual design of global institutional arrangements. Value of Water Research Report Series No. ۲۶, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

۱۴- Hoekstra, A.Y., and. Chapagain A. K. ۲۰۰۷. Water footprint of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. Water Resource Management ۲۱(۱):۳۵-۴۸.

۱۵- Chapagain, A. K, Hoekstra, A. Y., Savenije. H. H. G., and. Gautam. R. ۲۰۰۶. 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 ٦٠(١), ١٨٦-٢٠٣.

١٦- Aldaya, M. M., Hoekstra, A. Y., and Allan, J. A. ٢٠٠٨. Strategic importance of green water in international crop trade. Value of the Water Research Report Series No. ٢٥, UNESCO-IHE, Delft., the Netherlands.