



Research Paper

Virtual Water Trade of Cement Industry in Iran

Ehsan Darvishan^{1*}

¹Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

Article information

Received: September 13, 2021

Revised: October 24, 2021

Accepted: October 26, 2021

Keywords:

Cement industry
Import and Export
International Trade
Virtual Water

*Corresponding author:

darvishan@riau.ac.ir



Abstract

Water is a natural source that in addition to being required for development aims, is necessary for survival. After agriculture, the industry is one of the main water consumers in Iran. One of the main water consumer industries is cement production. However, no study is still conducted on the virtual water trade in the cement industry in Iran. In this paper, the virtual water trade between Iran and 68 countries importing cement from Iran and 40 countries to which Iran has exported cement was investigated. The time period of the current research was from 2001 to 2018. The results showed that the virtual water export of cement was 15.385×10^6 m³/yr. The total virtual water export of cement was calculated to be 276.940×10^6 m³. Virtual water imports of cement are 0.147×10^6 m³/yr. Iran is a net exporter of virtual water. For the production and export of cement in Iran, 70% blue water and 30% gray water are used.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Water is a natural source that is necessary for human and environmental development. However, the accessible water is limited. It is estimated that world consumption of water to be increased by 35% until 2050 which can lead to water scarcity in many countries. After agriculture, the industry is one of the main water consumers in Iran. One of the main water consumer industries is cement production. However, no study is conducted on virtual water trade of the cement industry in Iran.

In this paper, virtual water trade between Iran and 68 countries importing cement from Iran and

40 countries to which Iran has exported cement was investigated. The time period of the current research was from 2001 to 2018.

Material and Methods

Virtual water trade between Iran and countries that exported cement to Iran is calculated from multiplication of volume of cement trade (ton) to virtual water content of it (m³/ton). Virtual water import is estimated by multiplication of volume of imported product to virtual water content of that product. Total virtual water import for all of the products is obtained by sum of virtual water import of those products according to Eq. 1

$$VWI = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m VWC_{ij} \times W_{ij} \quad (1)$$



Where VWI is total virtual water import (m^3), VWC_{ij} is virtual water content for the desired i^{th} product from country j , and W_{ij} is weight of the product i from country j .

Total virtual water export to other countries is calculated from Eq. 2

$$VWE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l VWC_{si} \times W_{ik} \quad (2)$$

Where VWE is total virtual water export (m^3), VWC_{si} is virtual water content for i^{th} product from Iran (m^3/ton), and W_{ik} is the weight of the exported product.

Finally, the net virtual water flow in m^3/yr is obtained according to Eq. 3

$$NVWF = VWI - VWE \quad (3)$$

Where, NVWF is the net virtual water flow.

For calculation of blue and grey virtual water imports, Eqs. 4 and 5 were used, respectively.

$$\text{Blue VWI} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \text{Blue } WF_{ij} \times W_{ij} \quad (4)$$

$$\text{Grey VWI} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \text{Grey } WF_{ij} \times W_{ij} \quad (5)$$

Accordingly, blue and grey virtual water export were calculated by Eqs. 6 and 7, respectively.

$$\text{Blue VWE} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \text{Blue } WF_{si} \times W_{ik} \quad (6)$$

$$\text{Grey VWE} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l \text{Grey } WF_{si} \times W_{ik} \quad (7)$$

Results

Fig. 1 shows the water footprint for cement production in Iran and other countries. In this figure, VW, GWF, and BWF are virtual water, grey water footprint, and blue water footprint, respectively. For production of 1 ton cement in Iran $2.126 m^3$ water is consumed in average in which $1.496 m^3$ is blue water, and $0.63 m^3$ is green. In contrast, for production of 1 ton cement in the world $1.8 m^3$ is consumed in average in which $0.86 m^3$ is blue water and 0.94 is grey. Therefore, Iran consumes more blue water compared to the world average. Blue water is scarce and is more expensive than the grey one. Since in Iran blue water is limited, it is needed to substitute blue water by the grey one. Using wastewater or storing rain water can be a solution to reduce blue water consumption.

Table 1 lists the import and export of cement virtual water in 2001-2018 interval. Total cement virtual water export of Iran is $276.940 \times 10^6 m^3$ which can be classified to $194.874 \times 10^6 m^3$ blue water and $82.066 \times 10^6 m^3$ grey water. Total virtual water import of Iran in this period is

$2.650 \times 10^6 m^3$. $1.266 \times 10^6 m^3$ is related to blue water and the remaining $1.384 \times 10^6 m^3$ is related to grey water. These results show that Iran has been a net exporter of virtual water. The net export of virtual water is $274.29 \times 10^6 m^3$.

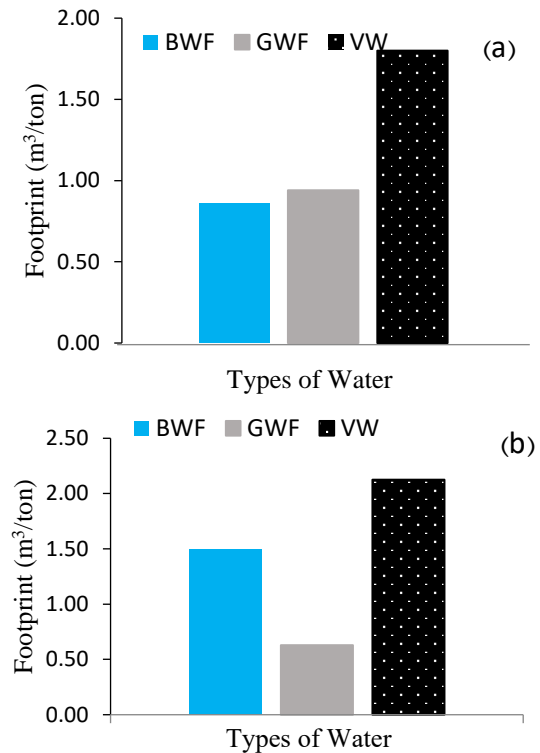


Fig. 1 Water footprint of cement production in: a) world and b) Iran

Asian countries are the largest importers of virtual water from Iran. 83% ($230.962 \times 10^6 m^3$) of the export is to Asia, 10% ($28.080 \times 10^6 m^3$) to Europe and 7% ($17.807 \times 10^6 m^3$) to Africa. In this period no export is observed to America. In addition to Export, Iran has a limited import of cement virtual water. Iran has imported cement virtual water from Asia (68%) and Europe (32%). This shows that geographical location and distance between countries is important for the virtual water trading.

During 2001-2018 Iran has established trade relations with 68 countries. Iraq with 55.87%, Afghanistan with 11.91%, Kuwait with 10.50%, Turkmenistan with 5.40% and Qatar with 3.79% are the largest importer countries from Iran. Iraq is the largest virtual water importer. As a result of long wars in Iraq, its structures and infrastructures need huge rebuilding. Therefore, Iraq has become one of largest importers of cement in the area. In Europe, Azerbaijan (70.78%), Russia (18.38%), Bulgaria (3.35%), Armenia (2.46%), and Spain (1.79%) are the 5

largest virtual water importers from Iran. Bangladesh (37.93%), Egypt (25.11%), Somalia (11.14%), Tanzania (93.80%), Mozambique (8.36%) are the largest importers of virtual water

from Iran. Based on these results it can be stated that most virtual water export from Iran has occurred for nearby countries.

Table 1 Virtual water import and export of cement (m³)

Year	Virtual water import			Virtual water export		
	BWF	GWF	TWF	BWF	GWF	TWF
2001	4.083	1.719	5.802	0.004	0.004	0.008
2002	1.884	0.793	2.678	0.006	0.006	0.012
2003	1.272	0.536	1.807	0.041	0.045	0.086
2004	1.550	0.653	2.202	0.158	0.173	0.331
2005	2.457	1.035	3.491	0.344	0.376	0.719
2006	0.856	0.361	1.217	0.377	0.412	0.789
2007	0.663	0.279	0.942	0.165	0.180	0.346
2008	0.869	0.366	1.234	0.099	0.108	0.207
2009	8.171	3.441	11.611	0.010	0.011	0.021
2010	11.392	4.797	16.189	0.009	0.010	0.020
2011	14.448	6.084	20.533	0.006	0.007	0.013
2012	18.903	7.961	26.864	0.006	0.007	0.013
2013	25.382	10.689	36.071	0.008	0.009	0.017
2014	26.045	10.968	37.013	0.007	0.008	0.015
2015	18.978	7.992	26.971	0.005	0.006	0.011
2016	19.147	8.063	27.210	0.006	0.006	0.012
2017	18.934	7.974	26.908	0.010	0.011	0.021
2018	19.841	8.355	28.196	0.004	0.005	0.009
Total	194.874	82.066	276.940	1.266	1.384	2.650

Conclusions

In this paper, the aim was to investigate the water footprint and virtual water trade of cement in Iran and other countries. According to analyses, the following conclusions can be drawn:

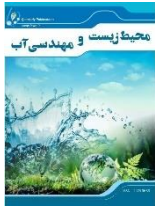
1. Iran is the net exporter of virtual water cement.
2. 70% of consumption and virtual water export in Iran is blue and the remaining is grey.
3. Asian countries are the largest exporter and importer of cement virtual water to Iran.

Data Availability

The raw/processed data required to reproduce these findings cannot be shared at this time as the data also forms part of an ongoing study.

Conflicts of interest

The author of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله پژوهشی

تجارت آب مجازی صنعت سیمان در ایران

احسان درویشان^{*}

استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۶/۲۳]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۸/۰۲]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۸/۰۴]

واژه‌های کلیدی:

آب مجازی سیمان
تجارت بین‌المللی
صنعت سیمان
واردات و صادرات

*نویسنده مسئول:

darvishan@riau.ac.ir

چکیده

آب یک منبع طبیعی است که علاوه بر این که برای اهداف توسعه مورد نیاز است، برای ادامه حیات نیز ضروری است. صنعت بعد از بخش کشاورزی از مصرف‌کنندگان اصلی آب در ایران است. یکی از صنایع اصلی مصرف‌کننده آب، صنعت سیمان می‌باشد. با این حال تاکنون تحقیقی بر روی وضعیت تجارت آب مجازی صنعت سیمان در ایران انجام نشده است. در این پژوهش تجارت آب مجازی بین ایران و ۶۸ کشور واردکننده سیمان از ایران و ۴۰ کشور که ایران به آن‌ها سیمان صادر کرده است، بررسی شد. دوره زمانی پژوهش حاضر از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ بود. نتایج نشان داد صادرات آب مجازی سیمان $10^6 \text{ m}^3/\text{yr} \times 15/385$ بود. کل صادرات آب مجازی سیمان $10^6 \text{ m}^3 \times 276/940$ محاسبه شد. واردات آب مجازی سیمان $10^6 \text{ m}^3/\text{yr} \times 1/147$ است. ایران صادرکننده خالص آب مجازی است. برای تولید و صادرات سیمان در ایران ۷۰٪ از آب آبی و ۳۰٪ از آب خاکستری استفاده می‌شود.

۱- مقدمه

مصرف‌کننده آب در جهان است که بیش از ۷۰٪ از منابع آب شیرین جهان را مصرف می‌کند (Caro 2021). پس از کشاورزی، بخش صنعت مسئول بیشترین میزان برداشت آب است. انتظار می‌رود به دلیل رشد سریع اقتصادی و افزایش جمعیت، مصرف آب توسط بخش صنعت در آینده افزایش یابد (Gerbens-Leenes et al. 2018). از نظر توسعه شهری، صنعت ساختمان به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی منابع آب در نظر گرفته می‌شود (Miura et al. 2001). طبق برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد صنعت ساختمان

آب یک منبع طبیعی اساسی برای توسعه انسانی و توسعه زیست‌محیطی است. اگرچه آب یک ماده فراوان و تجدیدپذیر بر روی زمین است، اما میزان آب موجود برای انسان محدود است. انتظار می‌رود تا سال ۲۰۵۰، برداشت جهانی از منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی ۳۵٪ افزایش یابد. این امر منجر به شرایط بحرانی در مناطقی می‌شود که آب کمیاب است و مدیریت ضعیفی دارد. هنگامی که استفاده از آب به‌درستی مدیریت نشود، می‌تواند منجر به بحران آب شود (Gerbens-Leenes et al. 2018). بخش کشاورزی بزرگ‌ترین



در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در مورد آب مجازی و تجارت آب مجازی انجام شده است که از مقیاس جهانی گرفته تا محصولات خاص متفاوت است. Caro et al. (2021) در پژوهشی تجارت آب مجازی محصول آوکادو را در بین سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶ بررسی کردند. نتایج نشان داد آوکادو عمدتاً از کشورهای کم آب به کشورهای پر آب صادر می‌شود. حجم عمده آب مجازی آوکادو از مکزیک، پرو و شیلی به ایالات متحده، ژاپن، کانادا و اتحادیه اروپا منتقل می‌شود. صادرات آوکادو ممکن است کمبود آب را در بسیاری از کشورهای کم آب تشدید کند. به موازات افزایش قابل توجه تجارت بین‌المللی آوکادو از ۰/۴ میلیون تن در سال ۲۰۰۰ به ۱/۹ میلیون تن در سال ۲۰۱۶، تجارت جهانی آب مجازی آوکادو از $10^6 \times 408 \text{ m}^3$ به $10^6 \times 2238 \text{ m}^3$ در مدت مشابه افزایش یافت. (Chen et al. (2021) نشان دادند اکثر کشورهایی که سرانه منابع پایینی دارند و با کمبود شدید آب مواجه هستند، صادرکنندگان خالص آب مجازی هستند، مانند هند، پاکستان، ایران و مصر، که نشان می‌دهد تجارت آب مجازی توزیع ناهموار منابع آب را تشدید می‌کند. همچنین کالاهایی با شدت آب مصرف آب بالا و ارزش افزوده کم عمدتاً توسط کشورهای درحال توسعه صادر می‌شود. کشورهای با درآمد بالا عمدتاً محصولات با ارزش افزوده بالا و هزینه‌های زیست‌محیطی کم صادر می‌کنند. (Wang et al. (2021) به بررسی ردپای آب مجازی در تجارت برق در اتحادیه اروپا پرداختند. نتایج نشان داد فرانسه و آلمان بزرگ‌ترین صادرکنندگان آب مجازی و اتریش بزرگ‌ترین واردکننده آب مجازی هستند. کل تجارت آب مجازی برق $10^9 \times 0/56$ محاسبه شد. Peer and Chini (2020) به ارزیابی تجارت جهانی آب مجازی بخش انرژی بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج نشان داد حجم کل تجارت آب مجازی بخش انرژی از 10^9 m^3 × ۱۳۵ در سال ۲۰۱۲ به 10^9 m^3 × ۲۱۱ در سال ۲۰۱۸ افزایش یافته است. تجارت جهانی نفت و هیزم محرک‌های ثابت تجارت آب مجازی هستند. درحالی‌که زغال‌سنگ، هیدروکربن‌ها و زغال به‌طور جمعی کم‌تر از ۴٪ از کل تجارت آب مجازی بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸ را شامل می‌شود. (Nasrollahi and Zarei (2018) با استفاده از مدل داده ستانده جریان آب مجازی بین ایران و اتحادیه اروپا را در سال ۲۰۱۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد ایران با تجارت با اتحادیه اروپا واردکننده خالص آب مجازی بوده است. میزان

به‌طور متوسط مسئول مصرف ۳۰٪ از منابع آب شیرین در جهان است (Peer and Chini 2020). تمرکز اصلی مطالعه حاضر، مصالح ساختمانی (سیمان) تولیدشده در صنعت ساختمان است که میلیون‌ها تن در جهان تولید می‌شود. ایران در سال ۱۳۹۳ بزرگ‌ترین تولیدکننده سیمان در خاورمیانه و چهارمین تولیدکننده بزرگ سیمان در دنیا بوده است. همچنین در سال ۲۰۱۳ ایران بزرگ‌ترین صادرکننده سیمان در دنیا بود. در ایران صنعت سیمان به دلیل نیاز به توسعه کشور همواره مورد توجه ویژه دولت‌ها بوده است. سیمان سومین محصول راهبردی در ایران است که با طیف وسیعی از محصولات و بخش‌های مختلف اقتصادی ارتباط عمیق دارد (Ahmadi and Karimi 2015).

یکی از راه‌های مدیریت مصرف آب در بخش ساختمان، محاسبه میزان مصرف آب مستقیم و غیرمستقیم در این بخش است. آب در پردازش و ساخت مصالح، تجهیزات ساختمانی و حتی نیروی انسانی مورد نیاز برای پشتیبانی از این فرایندها، که به‌عنوان مصرف غیرمستقیم آب شناخته می‌شود، مورد نیاز است (Gerbens-Leenes et al. 2018). (Hoekstra and Mekonnen (2012) شاخص آب مجازی را برای محاسبه کل مصرف آب مستقیم و غیرمستقیم در طول زنجیره تأمین محصولات مختلف پیشنهاد دادند. آب مجازی آبی است که در کل فرآیند تولید یک محصول مصرف می‌شود ولی در محصول نهایی وجود فیزیکی ندارد. آب مجازی ارتباط نزدیکی با مفهوم ردپای آب دارد. در واقع کل ردپای آب یک محصول به‌عنوان آب مجازی محصول شناخته می‌شود (Hekmatnia et al. 2020). مفهوم آب مجازی و ردپای آب به‌عنوان یک ابزاری توانمند برای کاهش مشکلات مربوط به کمبود آب در سطح جهان مطرح شد. محققان نیز استدلال کردند که مناطق دارای کمبود آب می‌توانند با وارد کردن محصولاتی که دارای آب مجازی بالایی هستند و صادر کردن محصولاتی که میزان آب مجازی بسیار کمی دارند، به سطوح بالایی از کارایی مصرف آب در سطح جهانی دست یابند. این به مفهوم تجارت آب مجازی است (Hekmatnia et al. 2020). تجارت آب مجازی برای درک و شناخت موازنه جریان آب مجازی یک کشور در یک دوره زمانی، اهمیت فراوانی دارد. موازنه مثبت نشان‌دهنده ورود آب مجازی به آن کشور و موازنه منفی بیانگر صدور آب مجازی از آن کشور خواهد بود (Hoekstra and Chapagain 2011).



محصول از آن کشور (مترمکعب بر تن) تخمین زده خواهد شد (Hoekstra and Mekonnen 2012). کل واردات آب مجازی برای همه محصولات از جمع واردات آب مجازی برای محصولات مختلف از طریق رابطه (۱) به دست می‌آید (Hekmatnia et al. 2020):

$$VWI = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m VWC_{ij} \times W_{ij} \quad (1)$$

که در رابطه (۱)، VWI کل میزان واردات آب مجازی (m^3)، VWC_{ij} محتوای آب مجازی برای محصول وارداتی i از کشور j (m^3/ton)، W_{ij} وزن محصول وارداتی i از کشور j (ton)، $I, j=1, 2, 3$ ، n نشان دهنده محصولات مختلف (و m نیز نشان دهنده کشورهای مختلفی که از آن‌ها محصولات وارد می‌شود، می‌باشد).

کل صادرات آب مجازی به سایر کشورها از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Hekmatnia et al. 2020):

$$VWE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l VWC_{si} \times W_{ik} \quad (2)$$

که، VWE کل صادرات آب مجازی (m^3)، VWC_{si} محتوای آب مجازی برای محصول i صادر شده از ایران (m^3/ton)، W_{ik} وزن محصول i صادر شده از ایران به کشور k ، $I=1, 2, 3$ ، n کشورهای i که محصولات به آن‌ها صادر می‌شود و n نشان دهنده محصولات صادراتی می‌باشد. در نهایت جریان خالص آب مجازی بر حسب m^3/yr از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید (Hoekstra and Mekonnen 2012):

$$NVWF = VWI - VWE \quad (3)$$

که، $NVWF$ جریان خالص آب مجازی^۱، VWI واردات آب مجازی^۲ و VWE صادرات آب مجازی^۳ می‌باشد.

برای محاسبه مقدار واردات آب مجازی آبی^۴ و واردات آب مجازی خاکستری^۵ بر حسب m^3/yr برای محصول وارد شده به کشور، به ترتیب مقدار رد پای آب آبی و خاکستری محصول (مترمکعب بر تن)، در میزان واردات محصول (ton) ضرب می‌شود (Hekmatnia et al. 2020).

برای محاسبه مقدار واردات آب مجازی آبی و آب مجازی خاکستری از روابط (۴) و (۵) استفاده شد. در این روابط،

خالص واردات آب مجازی $m^3 \times 10^6 \times 667$ است. (Hekmatnia et al. 2020) به بررسی عوامل مؤثر بر تجارت آب مجازی محصولات کشاورزی ایران بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ پرداختند. نتایج نشان داد کل صادرات آب مجازی بخش کشاورزی در ایران $m^3 \times 10^6 \times 90896$ می‌باشد. واردات آب مجازی بخش کشاورزی ایران $m^3 \times 10^9 \times 260/280$ می‌باشد و ایران در این دوره واردکننده خالص آب مجازی است.

برخلاف محصولات کشاورزی که پژوهش‌های زیادی در مورد مقدار مصرف آب این محصولات انجام شده است، محصولات صنعتی به اندازه کافی مورد پژوهش قرار نگرفته‌اند. اکثر مطالعات قبلی برای تعیین میزان مصرف آب در طول زنجیره تأمین محصولات خاص با تمرکز بر محصولات زراعی و دامی، که مسئول بیشترین میزان مصرف آب در جهان هستند، انجام شده است. بنابراین مطالعه در خصوص میزان مصرف آب در بخش صنعت ضروری است. بررسی مطالعات گذشته نشان داد تاکنون پژوهشی در خصوص رد پای تجارت آب مجازی محصول سیمان صورت نگرفته است.

در این پژوهش برای اولین بار به بررسی رد پای آب و حجم تجارت آب مجازی سیمان بین ایران و کشورهای شریک پرداخته شد. رد پای آب در این پژوهش به دو صورت در نظر گرفته شده است. رد پای آب آبی و رد پای آب خاکستری. رد پای آب آبی به صورت میزان برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی و رد پای آب خاکستری آب حاصل از فاضلاب و حجم آب شیرین مورد نیاز برای جذب و رقیق‌سازی آلاینده‌ها در نظر گرفته شده است. برای بررسی تجارت آب مجازی سیمان ۶۸ کشور که واردکننده سیمان از ایران بودند و ۴۰ کشور که ایران از آن‌ها سیمان وارد کرده بود مورد بررسی قرار گرفت. اطلاعات مربوط به صادرات و واردات صنعت سیمان از سایت مرکز تجارت جهانی برای دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ استخراج شد.

۲- مواد و روش‌ها

جریان تجارت آب مجازی بین ایران و کشورهای که از آن‌ها سیمان وارد شده است، از طریق ضرب مقدار حجم تجارت سیمان (تن) در محتوای آب مجازی آن محصول (m^3/ton) بر مبنای معادل آن در ایران و میانگین جهانی محاسبه می‌شود. واردات آب مجازی برای هر محصول با ضرب مقدار محصول وارداتی (ton) از یک کشور در محتوای آب مجازی

¹ Net Virtual Water Flow

² Virtual Water Import

³ Virtual Water Export

⁴ Blue Virtual Water Import

⁵ Grey Virtual Water Import



صنعت سیمان یکی از صنایع پیشرو در اقتصاد ایران است که تأثیرپذیری کمی از تحریم‌های بین‌المللی داشته است.

جدول ۱- حجم و ارزش تجارت سیمان در ایران

Table 1 Volume and value of cement trade in Iran

Year	Export		Import	
	Quantities (ton)	Value (US\$ 1000)	Quantities (ton)	Value (US\$ 1000)
2001	2729071	48398	4364	3291
2002	1259500	32812	6687	3674
2003	850125	33791	47542	5514
2004	1035929	44474	184110	12879
2005	1642107	75697	399706	30168
2006	572496	31782	438286	25873
2007	443316	27172	192015	18831
2008	580649	57999	115134	13451
2009	5461658	637793	11705	8003
2010	7614935	557256	10912	8964
2011	9657849	706191	7366	6727
2012	12635950	996362	7277	6639
2013	16966566	1105202	9371	8400
2014	17409846	885533	8337	7164
2015	12686083	678741	6206	4800
2016	12798514	433906	6405	4653
2017	12656559	429868	11776	8660
2018	13262389	382837	5071	4190
Total	130263542	7165814	1472270	181881

از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۴ هم‌زمان با اعمال تحریم‌های بین‌المللی بر بخش‌های مختلف اقتصادی کشور، تولید و صادرات سیمان در کشور رشد چشم‌گیری داشته است. از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۱۸ با فراز و نشیب‌هایی مواجه بوده است. بررسی میزان واردات سیمان تأییدکننده همین واقعیت است. به طوری که از سال ۲۰۰۶ که تولید و صادرات سیمان در کشور رشد داشته، میزان واردات سیمان سیر نزولی را پیدا کرده است. بیش‌ترین میزان واردات سیمان در سال ۲۰۰۶ رقم خورده است. بعد از سال ۲۰۰۶ صادرات سیمان کاهش یافته و در سال ۲۰۱۸ به کم‌ترین میزان رسیده است. (Ahmadi and Karimi (2015) نشان دادند در طول سال ۲۰۱۳ صنعت سیمان در ایران رتبه اول صادراتی در دنیا بوده است. بنابراین آمارها و اطلاعات و نتایج سایر محققین نشان از توسعه تولید و صادرات سیمان در ایران دارد که با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد. مجموع ارزش صادرات سیمان به دنیا ۷/۱۶۵ میلیارد دلار و مجموع ارزش واردات سیمان ۰/۱۸۱ میلیارد دلار می‌باشد.

Blue VWI واردات آب مجازی آبی و Grey VWI واردات آب مجازی خاکستری (m^3/yr) ، $Blue WF_{ij}$ و $Grey WF_{ij}$ به ترتیب ردپای آب آبی و ردپای آب خاکستری تولید محصول i در کشور j (m^3/ton) ، W_{ij} وزن محصول وارداتی i از کشور j (ton) ، $j=1,2,3$ ، I می‌باشد (Hekmatnia et al. 2020).

$$Blue VWI = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Blue WF_{ij} \times W_{ij} \quad (۴)$$

$$Grey VWI = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m Grey WF_{ij} \times W_{ij} \quad (۵)$$

میزان صادرات آب مجازی آبی و خاکستری نیز از طریق روابط (۶) و (۷) به دست آمد. در این روابط، $Blue VWE$ صادرات آب مجازی آبی و $Grey VWE$ صادرات آب مجازی خاکستری (m^3/yr) می‌باشد. $Blue WF_i$ و $Grey WF_i$ به ترتیب ردپای آب آبی و خاکستری محصول i تولیدشده در ایران (m^3/ton) ، W_{ik} وزن محصول i صادر شده از ایران به کشور k ، $k=1,2,3$ ، I کشورهای که محصولات به آن‌ها صادر می‌شود و n نشان‌دهنده محصولات صادراتی می‌باشد (Hekmatnia et al. 2020).

$$Blue VWE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l Blue WF_{si} \times W_{ik} \quad (۶)$$

$$Grey VWE = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^l Grey WF_{si} \times W_{ik} \quad (۷)$$

برای محاسبه ارزش صادرات آب مجازی از رابطه (۸) استفاده شد. در رابطه (۸) $VVWE$ ارزش صادرات m^3 آب مجازی $(Dollar/m^3)$ ، $TVWE$ کل صادرات آب مجازی (m^3) و TVI کل ارزش صادرات محصول $(Dollar)$ می‌باشد (Hekmatnia et al. 2020).

$$VVWE = \frac{TVI}{TVWE} \quad (۸)$$

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- واردات و صادرات سیمان

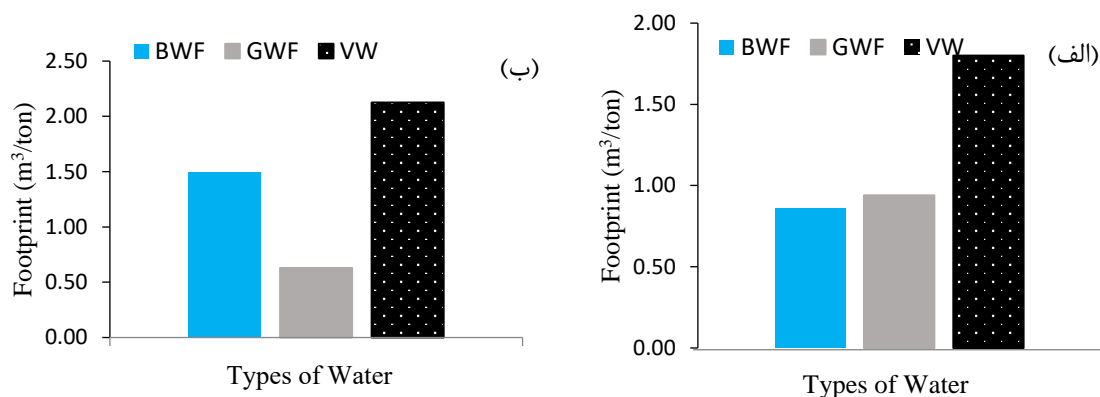
در جدول (۱) حجم و ارزش صادرات و واردات سیمان ارائه شده است. مطابق جدول، در سالهای ۲۰۰۱-۲۰۱۸ ایران در مجموع $130/263 \times 10^6$ ton سیمان به کشورهای دیگر صادر کرده است. ایران به طور متوسط سالانه 10^6 ton $7/237$ سیمان صادر کرده است. در مقابل مقدار واردات سیمان سالانه 10^6 ton $0/181 \times 10^6$ بوده است. لذا ایران در مجموع به طور خالص 10^6 ton $1/742 \times 10^6$ وارد کرده است. این نشان می‌دهد ایران بخشی از نیاز داخلی خود را از طریق واردات تأمین می‌کند. روند صادرات سیمان نشان می‌دهد



۲-۳- ردپای آب سیمان

می‌شود که از این مقدار $1/496 \text{ m}^3$ آب آبی و $0/63 \text{ m}^3$ آب خاکستری است (Hosseinian and Nezamoleslami 2018). برای تولید ۱ ton سیمان در دنیا به طور متوسط 1 m^3 آب مصرف می‌شود که از این مقدار $0/86 \text{ m}^3$ آب آبی و $0/94 \text{ m}^3$ آب خاکستری است (Gerbens-Leenes et al. 2018).

شکل (۲) ردپای آب تولید سیمان در ایران و در دنیا ارائه شده است (Hosseinian and Nezamoleslami 2018). منظور از VW، GWF و BWF به ترتیب آب مجازی، ردپای آب خاکستری و ردپای آب سبز می‌باشد. برای تولید ۱ تن سیمان در ایران به طور متوسط $2/126 \text{ m}^3$ آب مصرف



شکل ۱- ردپای آب تولید سیمان در: الف) جهان و ب) ایران

Fig. 1 Water footprint of cement production in: a) world and b) Iran

در ایران باید سعی شود نسبت استفاده از آب خاکستری در تولید محصول سیمان افزایش یابد. با توجه به اینکه ایران با محدودیت منابع آب شیرین مواجه است توسعه استفاده از آب فاضلاب و یا ذخیره‌سازی آب باران جهت استفاده در صنعت می‌تواند مفید واقع شود.

نتایج بررسی ردپای آب نشان می‌دهد سهم آب آبی در تولید سیمان در ایران نسبت به متوسط جهانی بالاتر است. در دنیا برای تولید سیمان ۵۲٪ از آب خاکستری و ۴۸٪ از آب آبی استفاده می‌کنند. در ایران برای تولید سیمان ۷۰٪ از آب آبی و ۳۰٪ از آب خاکستری استفاده می‌شود. آب آبی کمیاب است و هزینه فرصت بالاتری نسبت به آب خاکستری دارد.

جدول ۲ صادرات و واردات آب مجازی سیمان (m^3)

Table 2 Virtual water import and export of cement (m^3)

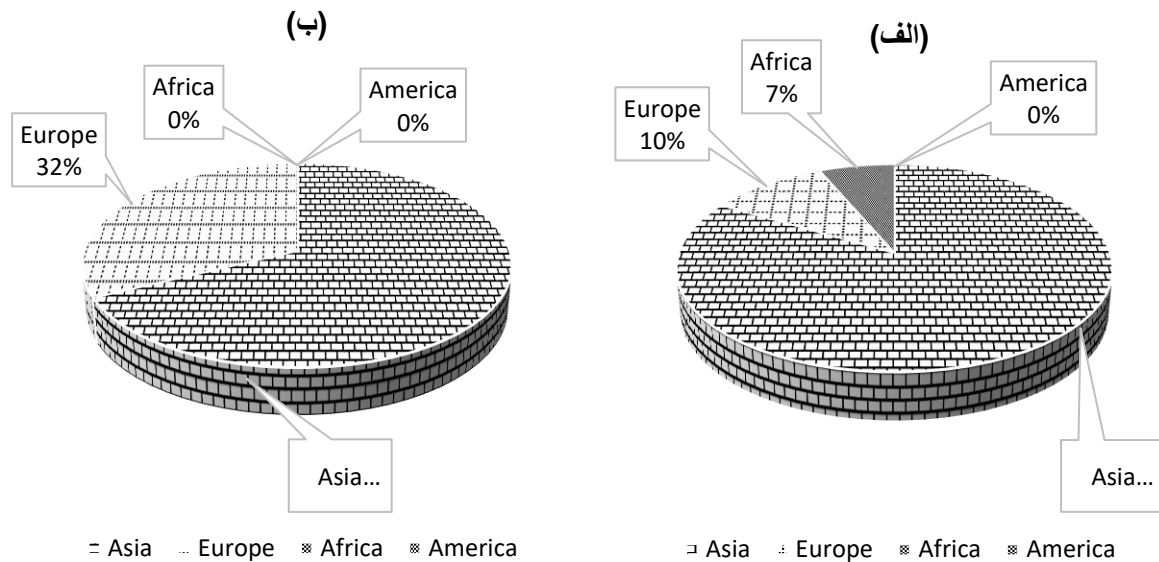
Year	Virtual water import			Virtual water export		
	BWF	GWF	TWF	BWF	GWF	TWF
2001	4.083	1.719	5.802	0.004	0.004	0.008
2002	1.884	0.793	2.678	0.006	0.006	0.012
2003	1.272	0.536	1.807	0.041	0.045	0.086
2004	1.550	0.653	2.202	0.158	0.173	0.331
2005	2.457	1.035	3.491	0.344	0.376	0.719
2006	0.856	0.361	1.217	0.377	0.412	0.789
2007	0.663	0.279	0.942	0.165	0.180	0.346
2008	0.869	0.366	1.234	0.099	0.108	0.207
2009	8.171	3.441	11.611	0.010	0.011	0.021
2010	11.392	4.797	16.189	0.009	0.010	0.020
2011	14.448	6.084	20.533	0.006	0.007	0.013
2012	18.903	7.961	26.864	0.006	0.007	0.013
2013	25.382	10.689	36.071	0.008	0.009	0.017
2014	26.045	10.968	37.013	0.007	0.008	0.015
2015	18.978	7.992	26.971	0.005	0.006	0.011
2016	19.147	8.063	27.210	0.006	0.006	0.012
2017	18.934	7.974	26.908	0.010	0.011	0.021
2018	19.841	8.355	28.196	0.004	0.005	0.009
Total	194.874	82.066	276.940	1.266	1.384	2.650

۳-۳- تجارت آب مجازی سیمان

در جدول (۲) صادرات و واردات آب مجازی سیمان به تفکیک آب آبی و آب خاکستری از سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ ارائه شده است. کل صادرات آب مجازی سیمان $10^6 \text{ m}^3 \times 276/940$ محاسبه شد. از این مقدار $10^6 \text{ m}^3 \times 194/874$ آب آبی و $10^6 \text{ m}^3 \times 82/066$ آب خاکستری است. نتایج واردات آب مجازی نشان داد مجموع واردات آب مجازی سیمان در ایران $10^6 \text{ m}^3 \times 2/650$ است. $10^6 \text{ m}^3 \times 1/266$ از واردات آب مجازی مربوط به آب آبی و $10^6 \text{ m}^3 \times 1/384$ مربوط به آب خاکستری است. ایران در این دوره صادرکننده خالص آب مجازی بوده است. مقدار خالص صادرات آب مجازی صنعت سیمان در ایران $10^6 \text{ m}^3 \times 274/29$ است.

شکل (۲) توزیع مکانی تجارت آب مجازی سیمان بین ایران و مناطق مختلف جهان را نشان می‌دهد. کشورهای آسیایی

بزرگ‌ترین واردکنندگان آب مجازی سیمان از ایران هستند. از این مقادیر، ۸۳٪ ($10^6 \text{ m}^3 \times 230/962$) از آب مجازی سیمان به آسیا، ۱۰٪ ($10^6 \text{ m}^3 \times 28/080$) به اروپا و ۷٪ ($10^6 \text{ m}^3 \times 17/807$) به آفریقا صادر شده است. در طول دوره زمانی پژوهش هیچ‌گونه صادراتی به کشورهای قاره آمریکا مشاهده نشد. ایران علاوه بر صادرات آب مجازی سیمان، واردات آب مجازی سیمان هم دارد. ایران واردات آب مجازی سیمان را از آسیا (۶۸٪) و اروپا (۳۲/۲۸٪) انجام می‌دهد. این نشان می‌دهد در تجارت آب مجازی بعد جغرافیایی و مسافت بین کشورهای تأثیرگذار است. Hekmatnia et al. (2020) نشان دادند بیش از ۶۰٪ از تجارت آب مجازی ایران با کشورهای آسیایی و حدود ۳۰٪ با کشورهای اروپایی صورت می‌گیرد که با نتایج این بخش هم‌خوانی دارد.



شکل ۲- توزیع مکانی تجارت آب مجازی سیمان: الف) صادرات و ب) واردات

Fig. 2 Spatial distribution of virtual water trade of cement: a) exports and b) imports

عمده واردات عمده سیمان از ایران می‌تواند این موضوع باشد. صادرات آب مجازی سیمان به عراق، ۴۶/۶۰٪ از کل صادرات آب مجازی سیمان را تشکیل می‌دهد. در اروپا، آذربایجان (۷۰/۷۸٪)، روسیه (۱۸/۳۸٪)، بلغارستان (۳/۳۵)، ارمنستان (۲/۴۶٪) و اسپانیا (۱/۷۹٪) پنج کشور بزرگ واردکننده آب مجازی سیمان از ایران هستند. کشورهای بنگلادش (۳۷/۹۳٪)، مصر (۲۵/۱۱٪)، سومالی (۱۱/۱۴)، تانزانیا (۹۳/۸٪) و موزامبیک (۸/۳۶٪) بزرگ‌ترین واردکنندگان آب مجازی سیمان از ایران هستند. این بررسی نشان می‌دهد بیش‌ترین میزان صادرات آب مجازی به

از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ ایران از طریق صادرات آب مجازی سیمان با ۶۸ کشور پیوند تجاری برقرار کرده است. اطلاعات مربوط به کل صادرات آب مجازی سیمان به این کشورها در طول سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۸ در جدول (۳) ارائه شده است. کشورهای عراق (۵۵/۸۷٪)، افغانستان (۱۱/۹۱٪)، کویت (۱۰/۵۰٪)، ترکمنستان (۵/۴۰٪) و قطر (۳/۷۹٪) پنج کشور بزرگ آسیایی واردکننده آب مجازی سیمان از ایران هستند. عراق بزرگ‌ترین واردکننده آب مجازی سیمان ایران در آسیا و دنیا است. عراق به دلیل جنگ‌زدگی نیاز به بازسازی زیرساخت‌ها و استحکامات خود دارد. بنابراین یکی از دلایل

کشورهایی انجام شده است که فاصله جغرافیایی نزدیکی با ایران دارند.

جدول ۳- صادرات آب مجازی سیمان به کشورهای شریک ۲۰۰۱-۲۰۱۸ (m³)

Table 3 Virtual water export of cement to partner countries 2001-2018 (m³)

Country	VW	Country	VW	Country	VW	Country	VW
Afghanistan	27497063	Djibouti	7547	Kuwait	24248508	South Africa	65836
Angola	45807	Egypt	4472237	Kyrgyzstan	21149	Spain	502295
Area Nes	21517	Eritrea	168673	Lebanon	213	Sri Lanka	208899
Armenia	691258	France	128	Madagascar	893	Sudan (before 2012)	227
Australia	16931	Free Zones	69342	Mozambique	1488393	Syrian Arab Republic	663
Azerbaijan	19875693	French Southern	202	Myanmar	2917	Tajikistan	1477755
Bahrain	68268	Gambia	110286	Nepal	344	Tanzania	1590101
Bangladesh	6754532	Georgia	357279	Netherlands	206	Thailand	285
Belgium	338	Germany	576	Oman	3471709	Togo	94097
Benin	55	Ghana	399150	Pakistan	7125340	Tunisia	421
Bulgaria	939911	Guinea	33353	Philippines	5345	Turkey	115744
Cameroon	53150	India	1455817	Portugal	390905	Turkmenistan	12477128
Central African Republic	476	Indonesia	47	Qatar	8755797	Ukraine	3159
China	653513	Iraq	129047771	Russian Federation	5161024	United Arab Emirates	6759708
Comoros	13645	Kazakhstan	3694308	Saudi Arabia	3089656	United Kingdom	41317
Congo	189052	Kenya	124862	Serbia and Montenegro	253	Uzbekistan	776868
Denmark	2	Korea, Republic of	36561	Somalia	1982967	Yemen	280719

در جدول (۴) اطلاعات مربوط به واردات آب مجازی سیمان از کشورهای شریک تجاری در طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۸ ارائه شده است. در این دوره زمانی ایران از طریق واردات آب مجازی سیمان با ۴۰ کشور پیوند تجاری برقرار کرده است. واردات آب مجازی سیمان از آسیا عمدتاً از کشورهای چین، امارات متحده عربی، چین تایپه، هند و فیلیپین صورت گرفته است. در اروپا واردات آب مجازی سیمان عمدتاً از کشورهای ترکیه (۱۹/۴۸٪)، ارمنستان (۳۷/۲۷٪)، فرانسه (۵۴/۸۰٪)، اتریش (۳۴/۶٪) و اسپانیا (۵۴/۳٪) صورت گرفته است. در امریکا فقط از کشور کانادا (۰/۰۷٪) و افریقا از کشور مراکش (۰/۰۱٪) واردات آب مجازی صورت گرفته است.

۳-۴- ارزش صادرات و واردات آب مجازی سیمان

در جدول (۵) ارزش صادرات و واردات ۱ m³ آب مجازی در صنعت سیمان ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در طول دوره زمانی پژوهش ارزش ۱ m³ واردات آب مجازی سیمان ۱۱/۸۲ برابر بیش‌تر از صادرات ۱ m³ آب مجازی سیمان می‌باشد. این نشان می‌دهد ایران سیمان را بسیار ارزان‌تر از مقدار واردات، صادر می‌کند. (Hekmatnia et al. (2021)

جدول ۴- واردات آب مجازی سیمان از کشورهای شریک ۲۰۰۱-۲۰۱۸ (Mm³)

Table 4 Virtual water export of cement from partner countries 2001-2018 (Mm³)

Country	VWI	Country	VWI
Armenia	0.212	Netherlands	0.011
Austria	0.049	Norway	0.000
Azerbaijan	0.001	Oman	0.000
Belgium	0.006	Pakistan	0.069
Canada	0.002	Philippines	0.085
China	0.852	Poland	0.000
Croatia	0.004	Russia	0.000
Czech Republic	0.000	Saudi Arabia	0.002
Denmark	0.000	Singapore	0.001
France	0.082	Spain	0.002
Free Zones	0.077	Sweden	0.000
Germany	0.003	Switzerland	0.027
India	0.108	Syria	0.000
Indonesia	0.075	Taipei, Chinese	0.224
Iraq	0.003	Thailand	0.000
Italy	0.000	Turkey	0.374
Japan	0.000	Turkmenistan	0.003
Korea, Republic of	0.028	United Arab Emirates	0.339
Kuwait	0.001	United Kingdom	0.004
Morocco	0.001	Uzbekistan	0.007



۴- نتیجه گیری

در این پژوهش هدف بررسی ردپای آب و تجارت آب مجازی صنعت سیمان بین ایران و کشورهای دنیا است. در این راستا مقدار صادرات و واردات آب مجازی صنعت سیمان برای دوره ۲۰۱۸-۲۰۰۱ محاسبه شد. مهم‌ترین نتایج حاصل از پژوهش را می‌توان به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

- ۱- ایران صادرکننده خالص آب مجازی سیمان است.
 - ۲- ۷۰٪ از مصرف و صادرات آب مجازی سیمان در ایران آب آبی و ۳۰٪ آب خاکستری است.
 - ۳- کشورهای آسیایی بزرگ‌ترین صادرکنندگان و واردکنندگان آب مجازی از ایران هستند.
- با توجه به محدودیت منابع آب آبی در ایران اولاً توسعه صنعت سیمان در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید با حساسیت بالاتری صورت گیرد. دوماً می‌بایست به سمت توسعه استفاده از آب خاکستری و ذخیره‌سازی آب باران جهت استفاده در صنعت سیمان در راستای حفظ ذخایر آب آبی حرکت کرد. با توجه به قابلیت ارزآوری صنعت سیمان در شرایط تحریم، توسعه این صنعت در مناطق پرآب پیشنهاد می‌گردد.

دسترسی به داده‌ها

از آنجایی که این مقاله بخشی از یک تحقیق در حال انجام است، داده‌های تولید شده یا آنالیز شده در این پژوهش قابل انتشار نمی‌باشند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

نشان دادند نرخ ارز یکی از عوامل اقتصادی مؤثر بر صادرات آب مجازی در بخش کشاورزی می‌باشد. قیمت نسبی صادراتی بیش‌ترین تأثیر را بر صادرات آب مجازی و درآمد شرکای عمده تجاری بیش‌ترین تأثیر را بر میزان واردات آب مجازی ایران دارد. با توجه به کشورهای مقصد صادرات آب مجازی محصول سیمان از ایران می‌توان نتیجه گرفت: اولاً ارزش کمتر 1 m^3 صادرات آب مجازی به این دلیل است که ایران محصول صادراتی خود را به قیمت پایین‌تر به جهان عرضه می‌کند. دوماً درآمد جهانی کشورهای مقصد صادراتی عموماً پایین است. کشورهای نظیر عراق و افغانستان مقصد عمده صادرات آب مجازی سیمان بوده‌اند. (et al. (2017) Shahraki نشان دادند نا اطمینانی نرخ ارز تأثیر مثبتی بر میزان صادرات آب مجازی ایران می‌گذارد. حجم بالای صادرات آب مجازی نیاز به کنترل و تثبیت نرخ ارز دارد.

جدول ۵- ارزش واردات و صادرات آب مجازی سیمان (US\$ per m^3)

Table 5 Value of virtual water import and export of cement (US\$ per m^3)

Year	Export	Import
2001	8.342	411.375
2002	12.252	306.167
2003	18.700	64.116
2004	20.197	38.909
2005	21.683	41.958
2006	26.115	32.792
2007	28.845	54.425
2008	47.001	64.981
2009	54.930	381.095
2010	34.422	448.200
2011	34.393	517.462
2012	37.089	510.692
2013	30.640	494.118
2014	23.925	477.600
2015	25.166	436.364
2016	15.947	387.750
2017	15.975	412.381
2018	13.578	465.556
AVE	26.067	308.108

References

- Ahmadi, R. and Karimi, A. (2015). Statistical analysis of production, consumption and universal trade of the cement industry of Iran in comparison with the world's main countries. *Iran. J. Offic. Stat. Stud.*, 26 (1). 107-128 [In Persian].
- Bazrafshan, Z., Ramezani-Etedali, H. and Bazrafahan, O. (2020). Spatio-temporal of walnut water footprint components and virtual water trading in Iran. *Iran. J. Eco.*, 7(3). 583-593 [In Persian]. DOI: 10.22059/IJE.2020.301439.1318
- Caro, D., Alessandrini, A., Sporchia, F. and Borghesi, S. (2021). Global virtual water trade of avocado. *J. Clean. Prod.*, 285, 124917. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124917
- Chen, W., Kang, J. N. and Han, M. S. (2021). Global environmental inequality: Evidence



- from embodied land and virtual water trade. *Sci. Total Environ.*, 783. 146992. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146992
- Gerbens-Leenes, P. W., Hoekstra, A. Y. and Bosman, R. (2018). The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass. *Water Resour. Ind.*, 19, 1-12. DOI: doi.org/10.1016/j.wri.2017.11.002
- Hekmatnia, H., Hosseini, S. and Safdari, M. (2020). Determination and assessment of green, blue and gray water footprints in the international trade of agricultural products of Iran. *Iran. J. Irrig. Drain.*, 14(2), 446-463 [In Persian].
- Hoekstra, A. Y. and Chapagain, A. K. (2011). *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*. John Wiley and Sons.
- Hoekstra, A. Y. and Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *P. Nat. Acad. Sci.*, 109, 3232–3237. DOI: 10.1073/pnas.1109936109
- Hosseinian, S. M. and Nezamoleslami, R. (2018). Water footprint and virtual water assessment in cement industry: A case study in Iran. *J. Clean. Prod.*, 172. 2454-2463. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.11.164
- Miura, N., Horpibulsuk, S. and Nagaraj. T. S. (2001). Engineering behavior of cement stabilized clay at high water content. *Soil. Found.*, 41(5), 33-45. DOI: doi.org/10.3208/sandf.41.5_33
- Nasrollahi, Z. and Zarei, M. (2018). Evaluation of virtual water flows in Iran's economy: analysing intersectoral water relationships using input-output model. *J. Econ. Model.*, 4(7), 131-157. DOI: 10.22075/JEM.2018.11103.1013
- Peer, R. A. and Chini, C. M. (2020). An integrated assessment of the global virtual water trade network of energy. *Environ. Res. Lett.*, 15(11). 114015. DOI: 10.1088/1748-9326/abbbb0
- Shahraki, J., Akbari, A. and Kiani Ghalehsard, S. (2017). Examining the relationship between exchange rate uncertainty and virtual water export in Iran. *Irrig. Water Eng.*, 8(1), 57-71 [In Persian].
- Tahami Pourzarandi, M., and Abedi, S. (2017). Evaluation of Virtual Water Trade by the Industrial Sector of Zanzan Province. *J. Water Wastewater*, 28(3), 36-45 [In Persian].
- Wang, L., Van Fan, Y., Jiang, P., Varbanov, P. S. and Klemeš, J. J. (2021). Virtual water and CO₂ emission footprints embodied in power trade: EU-27. *Energy Policy*, 155, 112348. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112348

How to cite this paper:

Darvishi, E. (2022). Virtual water trade of cement industry in Iran. *Environ. Water Eng.*, 8(3), 726–737. DOI: 10.22034/JEWE.2021.304563.1628

