



## Quantification of anthropogenic factors affecting Iran's groundwater quality: Application of method of moments quantile regression

Soorena Naderi<sup>1</sup>  | Ali Moridi<sup>2</sup> 

1. Department of Agricultural Economics, Faculty of Agriculture, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: [Sourena.naderi94@ut.ac.ir](mailto:Sourena.naderi94@ut.ac.ir)
2. Corresponding Author, Department of Water, Wastewater and Environmental Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: [a\\_moridi@sbu.ac.ir](mailto:a_moridi@sbu.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Research Article

#### Article history:

Received 11 December 2023

Received in revised form

10 January 2024

Accepted 5 March 2024

Published online 5 September 2024

#### Keywords:

*Composite Index*

*Generalized Method of Moments*

*Groundwater Quality Index*

*Sewage Infrastructures*

### ABSTRACT

Until now, various studies have been conducted regarding the quality of groundwater resources in Iran, however, few researchers have paid attention to the assessment of the role of different anthropogenic factors in the decrease of the quality of these resources. In this study, in order to fill this gap, the groundwater quality index was first calculated for all provinces of Iran between 2013 to 2019, and then by using a novel approach in estimating quantile regression, the influences of anthropogenic factors on the quality index were measured. Furthermore, to investigate the role and impact of sewage infrastructures on the quality of groundwater, two composite indices for the development of sewage treatment and collection infrastructures have been calculated by Entropy method. The findings of the study illustrate that in areas with high quality groundwater, the main factor affecting the quality of groundwater is the population, so that one percent growth in it increases the quality index by 0.71 percent. In places with medium and low-quality groundwater, the main factor in the quality decline of these resources is the economic growth of the agricultural sector. In fact, each percent growth in the economy of the agricultural sector amplifies the quality index by more than 2.5 percent. Other influential factors in these areas are population growth and economic growth of industry and mining sector. One percent growth in the composite indicators of the development of sewage treatment and collection infrastructure has also lessened the quality index by 0.05 and 0.01 percent on average. According to the results of the study, reducing input intensity in the agricultural sector and upgrading the sewage infrastructure are the main possible solutions regarding the quality management of groundwater resources in Iran.

**Cite this article:** Naderi, S., & Moridi, A. (2024). Quantification of anthropogenic factors affecting Iran's groundwater quality: Application of method of moments quantile regression. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (2), 487-508. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369475.1124>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369475.1124>

Publisher: The University of Tehran Press.



## کمی سازی اثرات ناشی از فعالیت های انسانی بر کیفیت آب های زیرزمینی در ایران: کاربرد رگرسیون کوانتایل به روش گشتاوری

سورنا نادری<sup>۱</sup> | علی مریدی<sup>۲</sup> ✉

۱. گروه اقتصاد کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [sourena.naderi94@ut.ac.ir](mailto:sourena.naderi94@ut.ac.ir)  
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: [a\\_moridi@sbu.ac.ir](mailto:a_moridi@sbu.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

تا کنون مطالعات متعددی به ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی در ایران پرداخته اند، اما سنجش سهم عوامل مختلف انسانی بر افت کیفیت این منابع کم تر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته شده است. در این مطالعه به منظور پر کردن این خلأ ابتدا شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای تمامی استان های ایران در بازه سال های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۸ محاسبه شده و سپس با به کارگیری یک رویکرد نوین در برآورد رگرسیون کوانتایل، اثرات عوامل انسانی بر شاخص کیفیت اندازه گیری شده است. هم چنین به منظور بررسی نقش زیرساخت های فاضلاب بر کیفیت آب های زیرزمینی، دو شاخص ترکیبی برای توسعه یافتگی زیرساخت های تصفیه و جمع آوری فاضلاب به روش آنتروپی ساخته شده اند. نتایج مطالعه نشان می دهد که در نقاط دارای آب زیرزمینی با کیفیت مطلوب، اصلی ترین عامل اثرگذار بر کیفیت آب زیرزمینی جمعیت می باشد، به طوری که یک درصد رشد جمعیت ۰/۷۱ درصد شاخص کیفیت را افزایش داده است. در نواحی دارای آب های زیرزمینی با کیفیت متوسط و پایین نیز اصلی ترین عامل در افت کیفی این منابع رشد اقتصادی بخش کشاورزی می باشد که هر یک درصد افزایش آن بیش از ۲/۵ درصد شاخص کیفیت را افزایش داده است. رشد جمعیت و رشد اقتصادی بخش صنعت و معدن نیز سایر عوامل اثرگذار در این نواحی می باشند. یک درصد رشد در شاخص های ترکیبی توسعه یافتگی زیرساخت های تصفیه و جمع آوری فاضلاب نیز به طور متوسط ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد شاخص کیفیت را کاهش داده است. براساس نتایج مطالعه کاهش شدت مصرف نهاده ها در بخش کشاورزی و ارتقای زیرساخت های فاضلاب اصلی ترین راه کارهای ممکن در خصوص مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی در ایران می باشند.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۶/۵

### کلیدواژه ها:

زیرساخت فاضلاب

شاخص ترکیبی

شاخص کیفیت آب زیرزمینی

گشتاور تعمیم یافته

استناد: نادری، سورنا و مریدی، علی (۱۴۰۳). کمی سازی اثرات ناشی از فعالیت های انسانی بر کیفیت آب های زیرزمینی در ایران: کاربرد رگرسیون کوانتایل به روش گشتاوری. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۲)، ۴۸۷-۵۰۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2024.369475.1124>



## ۱. مقدمه

منابع آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه هیدرولوژیکی به حساب می‌آیند و سهمی ۳۰ درصدی از کل منابع آب شیرین موجود در کره زمین را به خود اختصاص داده‌اند (Danielopol *et al.*, 2003). علاوه بر آن تأمین تقاضای آب در مصارف شرب، کشاورزی و صنعت در سراسر جهان نیز به‌طور عمده توسط این منابع انجام می‌شود و در حدود یک‌سوم از جمعیت جهان آب شرب مورد نیازشان را تنها از محل منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کنند (Li *et al.*, 2021). ایران نیز از این قاعده مستثنی نیست و منابع آب زیرزمینی به‌عنوان منبع اصلی تأمین آب در ایران سهمی حدوداً ۶۰ درصدی در تأمین تقاضای آب دارند و در نتیجه منبع اصلی تأمین آب در ایران به‌شمار می‌آیند و توسعه اقتصادی و اجتماعی تا حد زیادی حول محور این منابع شکل گرفته است (Noori *et al.*, 2021; Sadeghi *et al.*, 2017). هم‌چنین از آنجایی که منابع آب زیرزمینی برخلاف جریان‌های سطحی از نوسان کم‌تر و پایداری بیش‌تری برخوردار هستند عامل بسیار مهمی نیز در ایجاد تاب‌آوری در برابر تغییر اقلیم و وقوع دوره‌های خشکسالی به حساب می‌آیند (Glanville *et al.*, 2023; Land and Peters, 2023). با این وجود این منابع در دهه‌های گذشته به‌واسطه عوامل انسانی متعددی نظیر رشد جمعیت و توسعه اقتصادی از نظر کیفی با چالش‌های عدیده‌ای روبه‌رو شده‌اند (Li *et al.*, 2021). در چنین شرایطی دستیابی به وضعیتی که در آن توسعه اقتصادی و اجتماعی بدون افت کیفی منابع آب زیرزمینی رخ دهد مستلزم داشتن درکی جامع از تعاملات میان کیفیت منابع آب زیرزمینی و فعالیت‌های گوناگون انسانی است تا بتوان نقشه راه توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی کشور را با توجه به آن ترسیم کرد.

با توجه به اهمیتی که کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌تواند برای انسان و محیط زیست داشته باشد تا کنون مطالعات متعددی تلاش کرده‌اند تا جوانب مختلف کیفیت این منابع را در ایران مورد بررسی قرار بدهند. مطالعه Abbasnia *et al.* (2019) در بازه ۲۰۱۲-۲۰۱۳ با جمع‌آوری بیش از ۶۰۰ نمونه از منابع آب در استان سیستان و بلوچستان اقدام به سنجش کیفیت منابع آب زیرزمینی در این استان نموده است. پژوهش انجام‌شده توسط Amiri *et al.* (2021) کیفیت منابع آب زیرزمینی استان یزد که به مصرف شرب می‌رسند را در سال ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار داده است. پژوهش انجام‌شده توسط Badeenezhad *et al.* (2020) کیفیت منابع آب زیرزمینی که به مصرف شرب کلانشهر شیراز می‌رسند را در بین سال‌های ۲۰۱۳ الی ۲۰۱۷ از طریق نمونه‌برداری از منابع مذکور مورد بررسی و ارزیابی قرار داده است. مطالعه Noori *et al.* (2020) نیز کیفیت آب‌های زیرزمینی در آبخوان کرج را در بازه‌های زمانی مختلف بررسی کرده است. در پژوهشی دیگر توسط Seidmohammadi *et al.* (2020) جوانب مختلف کیفیت منابع آب مصرفی در شرب شهری استان همدان از طریق نمونه‌برداری از چاه‌های آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعات دیگری نیز به‌طور مشابه اقدام به سنجش و محاسبه وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی ایران کرده‌اند که وجه اشتراک اکثر آن‌ها محدود بودنشان به یک محدوده جغرافیایی خاص نظیر یک دشت، یک حوضه آبریز و یا یک استان به‌ویژه می‌باشد (Hosseinzadeh Talaei, 2018; Vesali Naseh *et al.*, 2018; Saatsaz *et al.*, 2013; Mirzavand *et al.*, 2020; Maghrebi *et al.*, 2015). با این حال، مطالعه Maghrebi *et al.* (2021) یکی از معدود مطالعاتی است که از این قاعده تبعیت نکرده و با استفاده از اطلاعات منتشره توسط وبسایت شرکت مدیریت منابع آب ایران اقدام به محاسبه شاخص کیفیت آب زیرزمینی در سراسر ایران در سال ۲۰۱۱ کرده که عملاً تمامی استان‌ها، حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی را در بر گرفته و از این حیث یکی از جامع‌ترین مطالعاتی است که در خصوص کیفیت منابع آب زیرزمینی ایران انجام شده است.

بسیاری از مطالعات علاوه بر سنجش وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی به عوامل مؤثر بر افزایش سطح آلودگی این منابع نیز اشاره کرده‌اند. یافته‌های پژوهش Nasrabadi *et al.* (2009) بیانگر اثرگذاری فعالیت‌های صنعتی و معدنی در

اطراف معدن مس سونگون بر افزایش سطح آلودگی منابع آب زیرزمینی می‌باشد. دو مطالعه (Saatsaz *et al.*, 2013) و (Sheikhy Narany *et al.*, 2014) هر دو بر نقش عوامل انسانی در نوسانات کیفیت منابع آب زیرزمینی در محدوده دشت آستانه-کوچصفهان و دشت آمل- بابل تأکید کرده‌اند، اما به این موضوع که هر یک از عوامل انسانی در محدوده‌های موردبررسی سهمشان در تغییرات سطح کیفی منابع آب زیرزمینی چقدر است اشاره نکرده‌اند. در مطالعه انجام‌شده توسط (Vesali Naseh *et al.*, 2018) فعالیت‌های کشاورزی و دفع پساب اصلی‌ترین عوامل اثرگذار بر افت کیفیت منابع آب زیرزمینی در دشت قائن قلمداد شده‌اند، اگرچه در این مطالعه سهم این عوامل در آلودگی منابع آب زیرزمینی به‌طور کمی موردبررسی قرار نگرفته‌اند. مطالعه انجام‌شده توسط (Badeenezhad *et al.*, 2020) نشان می‌دهد که دفع پساب شهری یکی از اصلی‌ترین عوامل اثرگذار بر افت کیفیت منابع آب زیرزمینی است بالاخص اگر این منابع در نزدیکی مراکز شهری قرار داشته باشند. در مطالعه (Givi *et al.*, 2020) نیز به نقش فعالیت‌های کشاورزی و دفع پساب‌های شهری بر افت سطح کیفی منابع آب زیرزمینی اشاره شده است. نقش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی در افزایش میزان اسیدیته منابع آب زیرزمینی و همچنین نقش پساب‌های شهری در افت کیفیت این منابع توسط (Maghrebi *et al.*, 2021) نیز مورد اشاره قرار گرفته شده اما این مطالعه نیز تلاشی به جهت سنجش سهم هر یک از این عوامل در افت کیفیت منابع آب زیرزمینی نکرده است. به‌طور کلی، تاکنون طیف وسیعی از مطالعات به نقش عوامل انسانی در آلودگی منابع آب زیرزمینی در ایران اشاره کرده‌اند که در میان این عوامل فعالیت‌های کشاورزی و دفع پساب و فاضلاب توسط تقریباً تمامی مطالعات مورد اشاره قرار گرفته شده‌اند (Amiri *et al.*, 2014; Barzegar *et al.*, 2019; Mahaqi, 2021; Nassiri, 2021; Pashaeifar *et al.*, 2021; Noori *et al.*, 2020; Mehdinejad, 2022). با این حال، هیچ‌یک از این مطالعات نیز تلاشی در جهت سنجش نقش هر یک از این عوامل انسانی در افت کیفی منابع آب زیرزمینی نکرده‌اند.

در میان مطالعات پیشین خلأ دیگری نیز در زمینه بررسی ماهیت ارتباط میان توسعه اقتصادی با کیفیت منابع آب زیرزمینی به چشم می‌خورد. ارتباط میان توسعه اقتصادی با کمیّت و کیفیت منابع آب عموماً از طریق فرضیه محیط زیستی کوزنتس موردبررسی قرار می‌گیرد که در مطالعات خارج از ایران به دفعات موردبررسی قرار گرفته شده (Choi *et al.*, 2015; Lee *et al.*, 2010; Paolo Miglietta *et al.*, 2017; Paudel *et al.*, 2005; Thompson and Thompson, 2014). این حال، بررسی فرضیه کوزنتس در خصوص منابع آب ایران کم‌تر موردتوجه پژوهش‌گران قرار گرفته. مطالعه (Hosseinzadeh *et al.*, 2022) این فرضیه را بین رشد اقتصادی در زیربخش‌های اقتصادی و میزان آب مصرفی در ایران موردبررسی قرار داده و به کیفیت منابع آب توجهی نکرده است. مطالعه (Ghobaishavi *et al.*, 2021) نیز تنها تلاش کرده تا فرضیه محیط زیستی کوزنتس را میان شهرنشینی و کیفیت منابع آب ایران بررسی کند، اما کیفیت منابع آب را برابر با مقدار کود شیمیایی و سموم مصرفی در نظر گرفته و توجهی به پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مربوط به کیفیت منابع آب نکرده است. علاوه بر آن در این مطالعه توجهی به برقراری یا عدم برقراری فرضیه کوزنتس میان رشد اقتصادی و کیفیت منابع آب نیز نشده است.

فقدان یک مطالعه که در سراسر ایران به اندازه‌گیری کمی نقش عوامل انسانی در نوسانات کیفیت منابع آب زیرزمینی پرداخته باشد باعث شده تا در ایران درک مشخصی از میزان اثرگذاری جوانب مختلف توسعه اقتصادی و اجتماعی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی وجود نداشته باشد. به سبب این موضوع در حال حاضر ترسیم یک مسیر راه به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار بدون واردآوردن فشار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. در همین راستا این مطالعه با هدف شناخت ماهیت اثرگذاری عوامل انسانی بر نوسانات کیفیت منابع آب زیرزمینی، ابتدا اقدام به ساخت شاخص کیفیت آب زیرزمینی برای هر یک از استان‌های ایران در طول سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۲ می‌کند و

سپس با استفاده از یکی از جدیدترین تعمیم های الگوهای رگرسیون پانل کوانتایل موسوم به الگوی کوانتایل به روش گشتاوری آثار ناشی از عوامل انسانی (به عنوان متغیرهای مستقل) بر شاخص کیفیت (به عنوان متغیر وابسته) را در طول سال های ۱۳۹۸-۱۳۹۲ مورد ارزیابی قرار می دهد. اگرچه الگوهای خانواده کوانتایل پیش تر نیز توسط مطالعات متعددی در زمینه الگوسازی جوانب مختلف آب های زیرزمینی به کار گرفته شده اند (Kim et al., 2019; Koch et al., 2021; Li et al., 2021; Shin et al., 2021). اما الگوی کوانتایل به روش گشتاوری تا کنون در این حیطه مورد استفاده قرار گرفته نشده و این مطالعه جزو اولین مطالعاتی است که اقدام به این کار می کند. همچنین با توجه به نقش پررنگ فاضلاب در نوسانات کیفی منابع آب زیرزمینی، در این مطالعه با به کارگیری روش آنتروپی اقدام به ساخت شاخص ترکیبی توسعه یافتگی زیرساخت های فاضلاب می شود و سپس اثرات آن بر شاخص کیفیت آب زیرزمینی در کنار سایر متغیرهای مستقل مورد بررسی قرار می گیرد. در نهایت نیز برای بار اول در ایران فرضیه زیست محیطی کوزنتس میان رشد اقتصادی در زیربخش های صنعت و کشاورزی با کیفیت منابع آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می گیرد.

## ۲. مواد و روش ها

### ۲.۱. شاخص کیفیت آب زیرزمینی

در این مطالعه به منظور ساخت شاخص کیفیت آب زیرزمینی (یا به اختصار شاخص کیفیت) از همان روشی استفاده می شود که پیش تر توسط Maghrebi et al. (2021) به منظور ارزیابی کیفیت منابع آب زیرزمینی ایران مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش که برای بار اول توسط Tarawneh et al. (2019) پیشنهاد و ارائه شده به منظور ساخت شاخص کیفیت ابتدا لازم است تا به هر یک از مؤلفه های کیفی آب زیرزمینی یک وزن اولیه از ۱ الی ۵ داده شود. سپس وزن نسبی هر یک از این مؤلفه ها از طریق رابطه (۱) مورد محاسبه قرار بگیرد.

$$W_n = \frac{\omega_n}{\sum_n \omega_n} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه،  $W_n$  وزن نسبی مؤلفه کیفی  $n$  و  $\omega_n$  وزن اولیه مؤلفه کیفی  $n$  می باشد. پس از محاسبه وزن نسبی برای تمامی  $n$  عدد مؤلفه کیفی لازم است تا رتبه کیفی هر یک از مؤلفه های کیفی از طریق رابطه (۲) مورد محاسبه قرار بگیرد.

$$Q_n = \frac{C_n}{S_n} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه،  $Q_n$  رتبه کیفی آب زیرزمینی برای مؤلفه کیفی  $n$ ،  $C_n$  مقدار مشاهده شده از مؤلفه کیفی  $n$  و  $S_n$  مقدار حداقل استاندارد مؤلفه کیفی  $n$  می باشد. پس از محاسبه شدن  $Q_n$  شاخص کیفیت از طریق رابطه (۳) قابل محاسبه می باشد. نکته مهم در خصوص شاخص کیفیت جهت منفی آن است، به این معنی که مقادیر بزرگ تر این شاخص به معنی آلودگی بیش تر منابع آب زیرزمینی می باشند و در نتیجه مقادیر کم تر آن مطلوب تر به حساب می آیند.

$$WQI = \sum Q_n W_n \quad \text{رابطه (۳)}$$

مقادیر متناظر با  $W_n$  و  $S_n$  در رابطه های (۱) و (۲) می باید به صورت برونزا تعیین شوند. در این مطالعه مقدار  $W_n$  برابر با آنچه توسط Tarawneh et al. (2019) و Maghrebi et al. (2021) به کار گرفته شده، در نظر گرفته می شود که مقادیر آن در جدول (۱) آورده شده است. مقادیر  $S_n$  نیز دوباره مشابه با همان دو مطالعه برابر با استانداردهای World

Health Organization (1997) در نظر گرفته شده‌اند که این مقادیر نیز در جدول (۱) آورده شده‌اند. اطلاعات مربوط به مقدار مؤلفه‌های کیفی منابع آب زیرزمینی نیز از وبسایت شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه و گردآوری می‌شوند.

**Table 1.** Weight and permissible limits assigned to the physio-chemical parameters of groundwater

	Cations				Anions			Other factors		
	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	PH	EC	TDS
Unit	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	-	µS/cm	mg/L
Wn	2	2	2	1	4	4	3	4	4*	4
Sn	200	501	200	200	600	600	600	8.5	1500	1500

Sources: Tarawneh *et al.*, 2019; World Health Organization, 1997.

\* Weight is assigned by Authors.

## ۲.۲. عوامل مؤثر بر کیفیت منابع آب زیرزمینی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد به‌منظور ارزیابی اثرات ناشی از عوامل مختلف انسانی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی لازم است تا پس از ساخت شاخص کیفیت آب زیرزمینی این شاخص به‌عنوان متغیر وابسته یک الگوی رگرسیون کوانتایل به‌روش گشتاوری بر روی متغیرهای اثرگذار بر آن (متغیرهای مستقل) برازش شود. متغیرهای اثرگذار بر کیفیت آب‌های زیرزمینی که در این مطالعه موردبررسی قرار می‌گیرند را می‌توان در سه گروه ۱- عوامل اقتصادی و اجتماعی، ۲- توسعه‌یافتگی زیرساخت‌های فاضلاب و ۳- عوامل طبیعی دسته‌بندی کرد. در میان متغیرهای موجود در این سه گروه ارزیابی آثار ناشی از متغیرهای موجود در گروه اول و دوم هدف اصلی این مطالعه می‌باشد و متغیرهای موجود در گروه سوم صرفاً متغیرهای کنترلی هستند که به‌منظور پیشگیری از اریب‌شدن نتایج رگرسیون در الگوسازی دخیل می‌شوند. این متغیرها به‌همراه توضیحات، واحد اندازه‌گیری و مأخذ گردآوری‌شان در جدول (۲) آورده شده‌اند و در ادامه به بررسی آن‌ها پرداخته می‌شود.

**Table 2.** Different forms of the relationship between environmental degradation and economic development within the Kuznets curve framework

Type	Variable	Symbol	Unit	Source
Socioeconomic Factors	Total population	TotalPop	People	*
	Total area of irrigated crop and orchard farming	IrrArea	Acre	*
	Per capita value added of agriculture sector (Constant - 2011=100)	AgVA	Rials	*
	Per capita value added of industry and mining sectors (Constant - 2011=100)	IndVA	Rials	*
	Square of per capita value added of agriculture sector	AgVA <sup>2</sup>	Rials	-
	Square of per capita value added of industry and mining sectors	IndVA <sup>2</sup>	Rials	-
Sewage Infrastructures Development	Sewage treatment composite index	SewA	Unitless	***
	Coverage and collection composite index	SewB	Unitless	***
Natural Factors	Groundwater levels	GWLevel	Meter	**
	Precipitation height	Precip	mm	*

\* Statistical Center of Iran's (SCI) Yearbooks; \*\* Iran's Water Resources Management Company; \*\*\* Composite indices of Sewage infrastructures development are constructed by authors, variables used in each composite index are extracted from SCI.

## ۲.۲.۱. عوامل اقتصادی و اجتماعی

با توجه به پیشینه مطالعات انتظار می‌رود که فعالیت‌های اقتصادی و اجتماعی انسان‌ها جزو مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی باشند. متغیرهای اقتصادی و اجتماعی که در این مطالعه به بررسی آثارشان بر کیفیت منابع آب زیرزمینی پرداخته می‌شود عبارتند از ۱- جمعیت (TotalPop)، ۲- کل سطح زیرکشت زراعی و باغی آبی (IrrArea)، ۳- سرانه ارزش افزوده کشاورزی (AgVA) و ۴- سرانه ارزش افزوده صنعت و معدن (IndVA). این متغیرها آلودگی‌های ناشی از رشد جمعیت، جوانب مختلف فعالیت‌های کشاورزی و فعالیت‌های صنعتی را در الگوی رگرسیونی نمایندگی و اندازه‌گیری می‌کنند.

علاوه بر متغیرهای فوق آثار ناشی از متغیرهای توان دوم دو متغیر  $AgVA$  و  $IndVA$  نیز مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در یک تحلیل رگرسیونی با تحلیل ضرایب  $AgVA$  و  $IndVA$  در کنار ضرایب متغیرهای توان دوم آن ها می توان اقدام به آزمون فرض زیست محیطی کوزنتس و تحلیل ماهیت ارتباط میان توسعه اقتصادی در بخش های مختلف اقتصاد با کیفیت منابع آب زیرزمینی کرد. فرضیه زیست محیطی کوزنتس فرض می کند که ارتباط میان توسعه اقتصادی و تخریب محیط زیستی شبیه به یک  $U$  وارون می باشد به طوری که در ابتدا با توسعه اقتصادی تخریب محیط زیست افزایش می یابد، اما با رسیدن به یک نقطه آستانه این ارتباط معکوس می شود (Dasgupta et al., 2002). برای هر یک از دو متغیر  $AgVA$  و  $IndVA$  اگر فرض کنیم که  $B1$  ضریب رگرسیونی برای توان اول و  $B2$  ضریب رگرسیونی برای توان دوم باشد آنگاه تمامی حالات ممکن برای این دو ضریب و تفسیری که در چهارچوب فرضیه کوزنتس دارند در جدول (۳) آورده شده است. همان طور که مشخص است فرضیه  $U$  وارون تنها در صورتی پذیرفته می شود که  $B1$  مثبت و  $B2$  منفی و معنی دار باشد.

Table 3. Dimensions and variables of sewage infrastructure index

Parameter value	Change in the parameter	Curve connection	Curve types
$B1=B2=0$	Constant	Without relation	Linear
$B1>0$ and $B2=0$	Steady increase	Linear	Straight line
$B1<0$ and $B2=0$	Steady decrease	Linear	Straight line
$B1>0$ and $B2<0$	Increase-decrease	Quadratic	Inverted 'U' curve
$B1<0$ and $B2>0$	Decrease-increase	Quadratic	'U' curve

Source: Hosseinzadeh et al., 2022

### ۲.۲.۲. عوامل طبیعی

اگرچه هدف اصلی این مطالعه سنجش اثرگذاری عوامل انسانی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی است، اما از این واقعیت نمی توان چشم پوشی کرد که عوامل طبیعی نیز بر کیفیت آب های زیرزمینی اثرگذار هستند و عدم کنترل اثرات ناشی از آن ها در الگوهای رگرسیونی می تواند با اثرات ناشی از عوامل انسانی تداخل پیدا کند و به ارب شدن نتایج حاصل از الگوسازی منتهی شود. در نتیجه لازم است که تا حد امکان این عوامل طبیعی در الگوهای رگرسیونی کنترل بشوند. به این منظور دو متغیر عمق منابع آب زیرزمینی ( $GWLevel$ ) و ارتفاع بارش ( $Precip$ ) در الگوهای رگرسیونی قرار خواهند گرفت.

### ۲.۲.۳. توسعه یافتگی زیرساخت های فاضلاب

به منظور بررسی اثرگذاری زیرساخت های فاضلاب بر کیفیت منابع آب زیرزمینی ابتدا این زیرساخت ها با توجه به کارکردشان در دو بُعد ۱- زیرساخت های تصفیه ( $SewA$ ) و ۲- زیرساخت های پوشش و جمع آوری ( $SewB$ ) طبقه بندی می شوند. سپس برای هر یک از این دو بُعد یک شاخص ترکیبی به روش آنتروپی ساخته می شود که این دو شاخص به عنوان متغیر مستقل درون الگوی رگرسیونی قرار می گیرند. متغیرهای موجود در هر یک از این دو بُعد به همراه توضیحات مربوطه در جدول (۴) آورده شده اند.

Table 4. Dimensions and variables of sewage infrastructure index

Dimension	Variable	Unit	Source
Sewage treatment	Number of industrial sewage treatment facilities	Unit	SCIY*
	Number of urban sewage treatment facilities for each 100.000 urban residents	Unit	SCIY*
Coverage and collection	Percentage of population with access to sewage collection system	Percent	SCIY*
	Fraction of collected sewage to sold water	Percent	SCIY*
	Per capita length of sewage collection network	Meter	SCIY*
	Percentage of cities with access to sewage collection system	Percent	SCIY*

\* SCIY is Statistical Center of Iran's Yearbooks.

بعد زیرساخت‌های تصفیه فاضلاب بیانگر ظرفیت استان‌ها در تصفیه کردن فاضلاب‌های جمع‌آوری شده می‌باشد که این کار می‌تواند هم در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و هم در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری رخ بدهد. در نبود دسترسی به اطلاعات مربوط به حجم فاضلاب تصفیه شده توسط این تصفیه‌خانه‌ها، در این مطالعه تنها از اطلاعات مربوط به تعداد تصفیه‌خانه‌ها استفاده شده است. متغیر تعداد واحدهای تصفیه فاضلاب صنعتی بیانگر ظرفیت صنایع در تصفیه فاضلاب و در صورت لزوم بازچرخانی پساب می‌باشد و متغیر تعداد تصفیه‌خانه فاضلاب شهری به ازای هر ۱۰۰ هزار نفر جمعیت شهری نیز مفهوم سرانه تصفیه‌خانه فاضلاب را در خود منعکس می‌کند.

بعد پوشش و جمع‌آوری نیز بیانگر میزان توسعه‌یافتگی زیرساخت‌های فاضلاب در زمینه تحت پوشش قرارداد هرچه بیش‌تر مردم با شبکه جمع‌آوری فاضلاب و هم‌چنین توان جمع‌آوری فاضلاب می‌باشد. از میان متغیرهای موجود در این بعد دو متغیر درصد جمعیت و درصد شهرهای تحت پوشش تأسیسات جمع‌آوری فاضلاب هر دو جوانب مختلفی از میزان توانایی زیرساخت‌های فاضلاب در پوشش‌دادن جمعیت را نشان می‌دهند. متغیر نسبت فاضلاب جمع‌آوری شده به کل آب مصرف‌شده شهری نیز توان تأسیسات فاضلاب در گردآوری فاضلاب را نشان می‌دهد. متغیر سرانه طول شبکه جمع‌آوری فاضلاب نیز بیانگر وضعیت فیزیکی زیرساخت‌های جمع‌آوری فاضلاب می‌باشد.

در این مطالعه به منظور ساخت شاخص ترکیبی از روش آنتروپی استفاده می‌شود که به این منظور مطابق با Li et al. (2019) ابتدا لازم است تا با روش کمینه- بیشینه اقدام به بی‌مقیاس کردن داده‌ها شود. با فرض داشتن  $M$  عدد استان و  $N$  عدد متغیر و مقادیر  $i$  و  $j$  که به ترتیب بیانگر استان  $i$  و متغیر  $j$  هستند، این کار از طریق رابطه (۴) انجام می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{a_{ij} - \min(a_i)}{\max(a_i) - \min(a_i)}, (i = 1, 2, 3, \dots, N; j = 1, 2, 3, \dots, M) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه (۴)،  $r_{ij}$  مقدار استاندارد شده متغیر  $i$  در استان  $j$ ،  $a_{ij}$  مقدار متغیر  $i$  در استان  $j$  پیش از استانداردسازی،  $\min(a_i)$  مقدار کمینه متغیر  $i$  و  $\max(a_i)$  مقدار بیشینه متغیر  $i$  می‌باشد. نتایج حاصل از استانداردسازی به این روش همواره در دامنه واحد  $[0, 1]$  قرار دارند. پس از محاسبه مقادیر استاندارد شده لازم است تا وزن هر یک از این مقادیر از طریق رابطه (۵) محاسبه شود (Li et al., 2019).

$$p_{ij} = \frac{(1 + r_{ij})}{\sum_{j=1}^J (1 + r_{ij})} \quad \text{رابطه (۵)}$$

پس از محاسبه شدن وزن هر یک از مشاهدات از طریق رابطه (۵) می‌باید مقدار آنتروپی برای هر یک از مشاهدات از طریق رابطه (۶) محاسبه شود و سپس وزن‌های آنتروپی از طریق رابطه (۷) محاسبه شوند. پس از آن با استفاده از وزن‌های آنتروپی می‌توان وزن هریک از متغیرها را مطابق با رابطه (۸) محاسبه کرد. در نهایت با در اختیار داشتن وزن هر یک از متغیرها مقدار شاخص ترکیبی با میانگین‌گیری وزنی مطابق با رابطه (۹) محاسبه می‌شود (Li et al., 2019):

$$e_{ij} = - \left( \frac{\sum_{j=1}^J (p_{ij} \cdot \ln(p_{ij}))}{\ln(J)} \right) \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\omega_j = \frac{1 - e_j}{n} - \sum_{i=1}^I (1 - e_i) \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$W_{ij} = \frac{\omega_j}{\sum_{i=1}^N \omega_j} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$CI = \frac{W_{ij} \cdot r_{ij}}{\sum W_{ij}} \quad \text{رابطه (۹)}$$



### ۳.۲. رگرسیون کوانتایل به روش گشتاوری

الگوی کوانتایل به روش گشتاوری که در این مطالعه از آن به منظور سنجش اثرگذاری عوامل انسانی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود حالت خاصی از الگوهای رگرسیون کوانتایل برای داده‌های پانل<sup>۱</sup> به‌شمار می‌آید. الگوهای رگرسیون کوانتایل نوع ویژه‌ای از الگوهای رگرسیونی هستند که اثرات ناشی از تغییر در متغیرهای مستقل را بر سراسر توزیع شرطی متغیر وابسته مورد ارزیابی قرار می‌دهند. این درحالی است که الگوهای مرسوم رگرسیونی تنها نشان‌دهنده آثار ناشی از تغییر در متغیر مستقل بر میانگین متغیر وابسته هستند، درحالی که تغییرات متغیر مستقل ممکن است بر قسمت‌های مختلف توزیع متغیر وابسته آثار ناهمگن و متفاوتی برجای بگذارد (Caetano *et al.*, 2023; Uribe and Guillen, 2020b). ویژگی منحصربه‌فرد الگوهای کوانتایل که باعث می‌شود بتواند سراسر توزیع متغیر وابسته را مورد ارزیابی قرار بدهند این است که این الگوها ضرایبشان را نه با توجه به میانگین متغیر وابسته، بلکه نسبت به هر یک از کوانتایل‌های توزیع آن مورد برآورد قرار می‌دهند (Uribe and Guillen, 2020a; Waldmann, 2018). به‌عنوان مثال، از طریق الگوهای رگرسیون کوانتایل می‌توان ضرایب متغیرهای مستقل را به‌ازای چارک‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد از توزیع متغیر وابسته مورد برآورد قرار داد تا بدین ترتیب نحوه اثرگذاری متغیرهای مستقل بر نواحی مختلف توزیع آماری متغیر وابسته مورد ارزیابی قرار بگیرد. بدیهی است که چنین ویژگی‌ای در الگوهای کوانتایل به افزایش دقت نتایج و پیشنهادهای سیاستی منتهی می‌شود که در مطالعاتی نظیر این مطالعه می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

ویژگی‌های منحصربه‌فرد الگوهای کوانتایل باعث می‌شود تا این الگوها مفروضات کم‌تری را بر شکل توزیع جملات خطا اعمال کنند و در نتیجه بسیاری از مشکلاتی که در خصوص الگوهای مرسوم رگرسیونی وجود دارد در مورد این الگوها وجود ندارد. به‌عنوان مثال، در این الگوها نرمال بودن توزیع جملات خطا و ثبات واریانس آن‌ها یک پیش‌فرض به‌حساب نمی‌آید (Ike *et al.*, 2020; Waldmann, 2018). همچنین از آنجایی که در این الگوها ضرایب رگرسیونی در هر قسمت از توزیع متغیر وابسته تنها منحصر به همان نقطه می‌باشند، بنابراین وجود داده‌های پرت نمی‌تواند به ارب‌شدن نتایج این الگوها منتهی شود (Koenker, 2004; Uribe and Guillen, 2020b).

الگوی مرسوم رگرسیون کوانتایل برای داده‌های پانل که مبنای الگوسازی در طیف وسیعی از مطالعات پیشین نیز می‌باشد ابتدا توسط Koenker (2004) ایجاد و ارائه گردید. در روش ارائه‌شده توسط Koenker (2004) اثرات ثابت مقطعی - یا همان اثرات ثابت در زمان ناشی از مقاطع پانل - صرفاً عواملی هستند که می‌توانند توزیع احتمال متغیر وابسته را به‌طور موازی به طرف راست یا چپ منتقل کنند. الگوی کوانتایل به روش گشتاوری که توسط Machado and Santos Silva (2019) ایجاد شده است یکی از اصلی‌ترین برتری‌های نسبت به الگوی پیشنهادی توسط Koenker (2004) این است که اجازه می‌دهد تا اثرات مقطعی به‌طور غیرموازی باعث انتقال توزیع احتمال متغیر وابسته بشوند و در نتیجه هر یک از مقاطع در بخش‌های مختلف توزیع متغیر وابسته دارای اثرات ثابت مختلفی خواهند بود که این ویژگی انعطاف‌پذیری الگوی کوانتایل به روش گشتاوری را نسبت سایر روش‌های الگوسازی داده‌های پانل به‌طور چشم‌گیری افزایش می‌دهد (Ike *et al.*, 2020).

به‌منظور تشریح روش الگوسازی رگرسیون کوانتایل به روش گشتاوری ابتدا یک ساختار داده پانل را که دارای  $k$  عدد مقطع است به‌صورت  $\{(Y_{it}, X'_{it})\}$  در نظر می‌گیریم که  $X$  ماتریس متغیر مستقل،  $Y$  بردار متغیر وابسته،  $i$  بیانگر مقطع  $t$  و بیانگر زمان می‌باشد. سپس یک الگوی مکان-مقیاس<sup>۲</sup> را مشابه با آنچه در رابطه (۱۰) آورده شده است در نظر می‌گیریم (Machado and Santos Silva, 2019).

$$Y_{it} = \alpha_i + X'_{it}\beta + (\delta_i + Z'_{it}\gamma)U_{it} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

برای الگوی مکان-مقیاس رابطه (۱۰) فرض می‌کنیم که شرط  $\Pr\{(\delta_i + Z_{it}'\gamma) > 0\} = 1$  همواره برقرار می‌باشد. مقادیر  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\delta$  و  $\gamma$  نیز پارامترهای مجهولی هستند که می‌باید مورد برآورد قرار بگیرند که از این میان  $\alpha$  و  $\delta$  مربوط به اثرات ثابت هر یک از مقاطع هستند و  $\beta$  ضریب متغیرهای مستقل می‌باشد.  $U$  نیز جمله خطای تصادفی، مستقل با توزیع یکسان<sup>۳</sup> است که شروط گشتاوری  $E(U) = 0$  و  $E(U^2) = 1$  را به‌طور همزمان تأمین می‌کند.  $Z$  نیز یک تبدیل مشتق‌پذیر از  $X$  مشابه با رابطه (۱۱) می‌باشد (Machado and Santos Silva, 2019).

$$Z_l = Z_l(X); l = 1, \dots, k \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد الگوهای رگرسیون کوانتایل ضرایب رگرسیونی را به‌ازای کوانتایل‌های توزیع متغیر وابسته مورد برآورد قرار می‌دهند. به همین سبب برای برآورد این ضرایب تابع کوانتایل شرطی وابسته  $Q_Y(\tau|X_{it})$  که خود برگرفته از رابطه (۱۱) است را مطابق با رابطه (۱۲) در نظر می‌گیریم (Machado and Santos Silva, 2019).

$$Q_Y(\tau|X_{it}) = (\alpha_i + \delta_i q(\tau)) + X_{it}'\beta + Z_{it}'\gamma q(\tau) \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در رابطه (۱۲)،  $\tau$  کوانتایل  $\tau$  درصد و  $q(\tau)$  مقدار کوانتایل به‌ازای  $\tau$  می‌باشد. عبارت  $\alpha_i + \delta_i q(\tau)$  نیز بیانگر اثر ثابت مقطع  $i$  به‌ازای کوانتایل  $\tau$  می‌باشد. این یعنی همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد در الگوی کوانتایل به‌روش گشتاوری هر یک از مقاطع به‌ازای کوانتایل‌های مختلف دارای اثرات ثابت متفاوتی می‌باشد که این ناهمگنی در اثرات ثابت از جزء  $\delta_i q(\tau)$  نشأت می‌گیرد، درحالی‌که  $\alpha_i$  بیانگر اثر متوسط مقطع  $i$  در سراسر توزیع متغیر وابسته است. از رابطه (۱۲) مشخص است که ضرایب  $\beta$  به‌ازای هر  $\tau$  به‌طور مجزا مورد برآورد قرار می‌گیرند و در نتیجه ضرایب رگرسیونی با تغییر در کوانتایل دچار تغییر می‌شوند. مطابق با Machado and Santos Silva (2019) برآورد پارامترهای مجهول  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\delta$  و  $\gamma$  در روابط (۱۱) و (۱۲) با به‌کارگیری روش گشتاوری تعمیم‌یافته<sup>۴</sup> از طریق یک فرایند پنج مرحله‌ای قابل برآورد می‌باشند که توضیحات بیش‌تر در خصوص مبانی آماری برآورد آن‌ها در Machado and Santos Silva (2019) به تفصیل آورده شده و در اینجا به جزئیات آن اشاره نمی‌شود.

همان‌طور که مشاهده شد در روش کوانتایل به‌روش گشتاوری تخمین ضرایب رگرسیونی متکی بر یک الگوی مکان-مقیاس مطابق با آنچه در رابطه (۱۱) آورده شده می‌باشد و به همین علت نیز تمامی ضرایب برآوردی به‌ازای کوانتایل‌های مختلف با وجود تفاوت‌هایی که با یکدیگر دارند اما از طریق یک الگوی مکان-مقیاس با یکدیگر در ارتباط هستند. به همین علت نیز الگوهای کوانتایل به‌روش گشتاوری متشکل از دو جزء اصلی شامل ۱- الگوی مکان-مقیاس و ۲- رگرسیون کوانتایل می‌باشند که جزء اول خود شامل یک الگوی مکان<sup>۵</sup> و یک الگوی مقیاس<sup>۶</sup> می‌باشد و جزء دوم حاوی ضرایب رگرسیونی به‌ازای کوانتایل‌های مختلف توزیع متغیر وابسته است. الگوی مکان شامل ضرایبی است که جهت اثرگذاری متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته در سراسر طول توزیع آن را نشان می‌دهند و الگوی مقیاس شامل ضرایبی است که نحوه تغییر در مقدار اثرگذاری متغیرهای مستقل با حرکت از نقطه ابتدایی توزیع متغیر وابسته به سوی نقطه فوقانی آن را نشان می‌دهد. ضرایب رگرسیون کوانتایل نیز بیانگر اثرات ناشی از تغییر در متغیرهای مستقل بر هر یک از کوانتایل‌های متغیر وابسته می‌باشند (Gnangnon, 2023; Machado and Santos Silva, 2019; Raifu and Aminu, 2023).

## ۴.۲. آزمون همبستگی فضایی موران

با توجه به این‌که مقادیر شاخص کیفیت در هر استان ممکن است به مقادیر آن در استان‌های مجاور وابسته باشد، بنابراین لازم است تا پیش از برآورد الگوی رگرسیون کوانتایل به بررسی وجود یا عدم وجود همبستگی فضایی میان مقادیر شاخص کیفیت در میان استان‌ها پرداخته شود، زیرا در صورت وجود همبستگی فضایی به‌کارگیری الگوهای

غیرفضایی نظیر الگوهای کوانتایل به نتایجی اریب منتهی می شود. به منظور ارزیابی همبستگی میان متغیر  $y$  در نقطه  $i$  با متغیر  $y$  در نقطه  $z$  از آزمون  $I$  موران استفاده می شود. پیش از انجام آزمون  $I$  موران ابتدا لازم است تا چگونگی ارتباط میان نقاط مختلف موجود در فضا نظیر  $i$  و  $z$  از طریق ساخت ماتریس وزن فضایی<sup>۷</sup> مشخص شود که در این مطالعه این ماتریس به روش مجاور<sup>۸</sup> ساخته می شود. با این فرض که دو نقطه  $i$  و  $z$  در ماتریس وزن فضایی دارای وزن  $w_{ij}$  هستند و مجموع نقاط موجود در فضا برابر با  $P$  است آماره آزمون  $I$  موران مطابق با رابطه (۱۳) محاسبه می شود (Liu and Song, 2020). این آماره همواره بین  $-1$  الی  $+1$  قرار دارد و مقادیر مثبت، منفی و صفر آن بیانگر همبستگی فضایی مثبت، منفی و عدم وجود همبستگی فضایی می باشند (Liu and Song, 2020). آماره  $Z$  به منظور آزمون معنی داری آماره موران نیز از طریق رابطه (۱۴) قابل محاسبه است که در آن  $E[I]$  و  $Var[I]$  به ترتیب امید ریاضی و واریانس  $I$  می باشند (Li et al., 2007; Liu and Song, 2020).

$$I = \frac{P \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P w_{ij} (y_i - \bar{y})(y_j - \bar{y})}{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P w_{ij} \sum_{i=1}^P (y_i - \bar{y})^2} \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$Z_I = (I - E[I]) / \sqrt{Var[I]} \quad \text{رابطه ۱۴}$$

## ۲.۵. تصریح الگوی رگرسیونی

شکل کلی الگوی رگرسیونی که در آن شاخص کیفیت آب زیرزمینی (GQI) بر روی متغیرهای مستقل برازش می شود مطابق با رابطه (۱۵) می باشد. در این رابطه  $\beta$  ضرایب رگرسیونی،  $\ln(\cdot)$  عملگر لگاریتم طبیعی و  $U$  جمله خطا است. از آنجایی که رابطه (۱۵) تمام- لگاریتمی است ضرایب آن ماهیت کشش<sup>۹</sup> دارند و بیانگر درصد تغییر در متغیر وابسته در پی یک درصد تغییر در متغیر مستقل- با فرض ثبات تمامی عوامل دیگر- می باشند. در این مطالعه داده های ورودی به الگوی کوانتایل از جنس پانل هستند که مقاطع آن را هر یک از ۳۱ استان ایران تشکیل می دهند و بعد زمانی آن مربوط به سال های ۱۳۹۲ الی ۱۳۹۸ می باشد. با قراردادن این ساختار داده در الگوی کوانتایل به روش گشتاوری و برآورد رابطه (۱۵) نتایج حاصله بیانگر میزان اثرگذاری هریک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته به ازای هر یک از کوانتایل های توزیع متغیر وابسته خواهند بود که این کوانتایل ها نیز بیانگر سطوح مختلف متغیر وابسته می باشند. به عنوان مثال، اگر رابطه (۱۵) به ازای کوانتایل ۲۵ درصد برآورد شود، آنگاه ضریب  $\beta_1$  بیانگر درصد تغییر در GQI به ازای یک درصد تغییر در TotalPop است هنگامی که GQI در مقادیر اندک خود قرار دارد (زیرا کوانتایل ۲۵ درصد مربوط به سطوح نسبتاً کم GQI می باشد که بیانگر کیفیت نسبتاً بالای منابع آب زیرزمینی هستند). به همین ترتیب اگر رابطه (۱۵) به ازای کوانتایل ۷۵ درصد برآورد شود آنگاه ضریب  $\beta_1$  درصد تغییر در GQI به ازای یک درصد تغییر در TotalPop را نشان می دهد هنگامی که GQI در مقادیر زیاد خود قرار دارد (زیرا کوانتایل ۷۵ درصد مربوط به سطوح نسبتاً زیاد GQI است که نشان دهنده کیفیت نسبتاً پایین منابع آب زیرزمینی هستند). همچنین لازم به ذکر است که در برآورد رابطه (۱۵) اثرات ثابت زمانی و مقطعی توسط متغیرهای موهومی کنترل خواهند شد.

$$\ln(GQI) = \beta_0 + \beta_1 \times \ln(\text{TotalPop}) + \beta_2 \times \ln(\text{IrrArea}) + \beta_3 \times \ln(\text{AgVA}) + \beta_4 \times \ln(\text{IndVA}) + \beta_5 \times \ln(\text{AgVA})^2 + \beta_6 \times \ln(\text{IndVA})^2 + \beta_7 \times \ln(\text{GWLevel}) + \beta_8 \times \ln(\text{Precip}) + \beta_9 \times \ln(\text{SewA}) + \beta_{10} \times \ln(\text{SewB}) + U \quad \text{رابطه ۱۵}$$

## ۳. نتایج و بحث

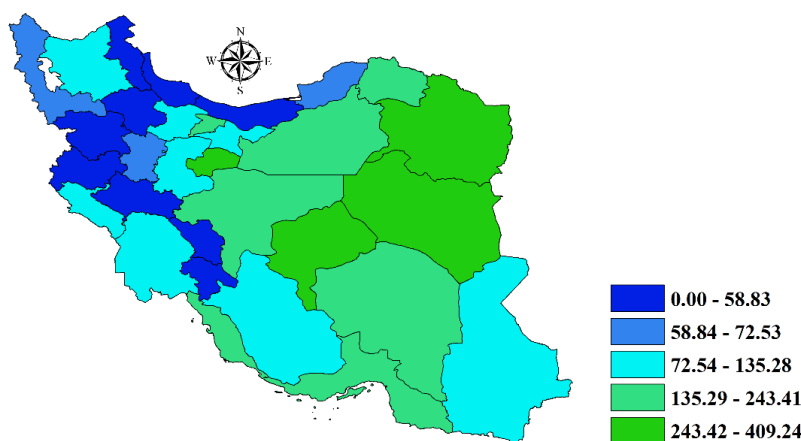
### ۳.۱. شاخص کیفیت آب زیرزمینی

در این مطالعه ابتدا اقدام به ساخت شاخص کیفیت آب زیرزمینی شده و به منظور حصول اطمینان از صحت نتایج حاصل شده،

این نتایج با نتایج مطالعه Maghrebi *et al.* (2021) مقایسه شده‌اند. بر همین اساس می‌توان گفت که شاخص کیفیت در این مطالعه انطباق قابل قبولی با نتایج Maghrebi *et al.* (2021) دارد. اطلاعات آمار توصیفی شاخص کیفیت در جدول (۵) آورده شده است و مقادیر متوسط آن در طول بازه موردبررسی برای هریک از استان‌ها در شکل (۱) ارائه شده است.

**Table 5.** Descriptive statistics of groundwater quality index

Average	SD	Skewness	CV	Min	Max	$\tau = 0.25$	$\tau = 0.50$	$\tau = 0.75$
149.58	10.75	1.23	0.07	32.15	526.05	55.60	128.38	206.66



**Figure 1.** Average of groundwater quality index in Iran's provinces through 2013-2019 period

به‌منظور داشتن درکی بهتر در خصوص توزیع احتمال شاخص کیفیت، نمودار چگالی کرنل و هیستوگرام آن در نمودار A از شکل (۲) و نمودار تابع توزیع تجمعی تجربی آن در نمودار B از شکل (۲) ارائه شده‌اند. مطابق با نمودار A از شکل (۲) توزیع مقادیر شاخص کیفیت در اطراف میانگین به‌طور متقارنی انجام نشده و شکل توزیع چوله به سمت راست و دارای دو مُد است که مُد اول که اکثر مشاهدات در اطراف آن قرار گرفته‌اند حدوداً برابر با ۸۰ و مُد دوم حدوداً برابر با ۴۰۰ می‌باشد که مربوط به مشاهدات با سطح آلودگی نسبتاً بالا است. به‌منظور داشتن درکی بهتر از کوانتایل‌های توزیع شاخص کیفیت، نمودار توزیع تجمعی تجربی آن در نمودار B از شکل (۳) ارائه شده است. همان‌طور که از نمودار B از شکل (۳) و جدول (۵) مشخص است اگر توزیع شاخص کیفیت را براساس چارک‌های  $Q_1$  آن تقسیم‌بندی کنیم ۲۵ درصد از مشاهدات کمتر از ۵۶/۶۰، ۵۰ درصد از مشاهدات کمتر از ۱۲۸/۳۸ و ۷۵ درصد از مشاهدات کمتر از ۲۰۶/۶۶ می‌باشند.

به‌منظور داشتن درکی بهتر از جایگاه تقریبی استان‌های ایران در توزیع شاخص کیفیت آب زیرزمینی، دسته‌بندی آن‌ها براساس موقعیتشان نسبت به کوانتایل‌های ۲۵ و ۷۵ درصد از توزیع شاخص کیفیت در شکل (۳) ارائه شده است. همان‌طور که از شکل‌های (۱) و (۳) مشخص است کیفیت آب‌های زیرزمینی در فلات مرکزی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای بدتر از سایر نقاط ایران است. استان‌های واقع در حاشیه خلیج فارس و دریای عمان و همچنین استان‌های واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نیز اغلب از سطوح متوسطی از کیفیت آب‌های زیرزمینی برخوردار هستند. استان‌های واقع در حاشیه دریای خزر به همراه استان‌های واقع بر روی رشته کوه زاگرس نیز عموماً آب‌های زیرزمینی‌شان دارای کیفیت متوسط رو به بالایی می‌باشد.

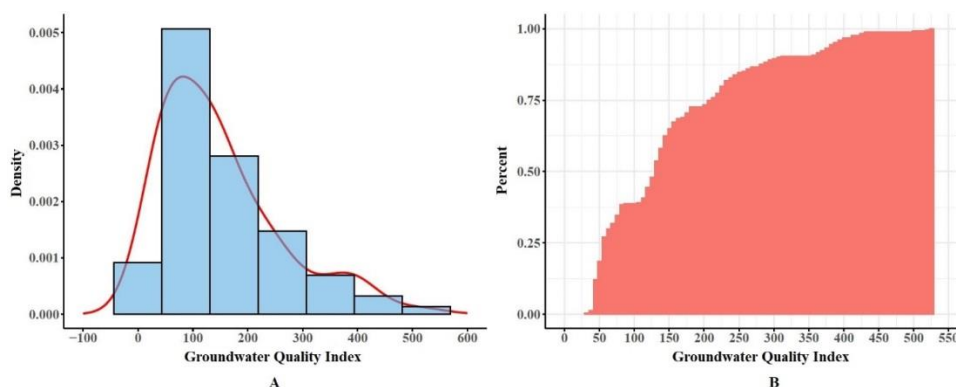


Figure 2. A) Histogram and kernel density curve of groundwater quality index (For KDE estimation gaussian kernel is used with smoothing bandwidth equal to 45). B) Empirical cumulative distribution function of groundwater quality index

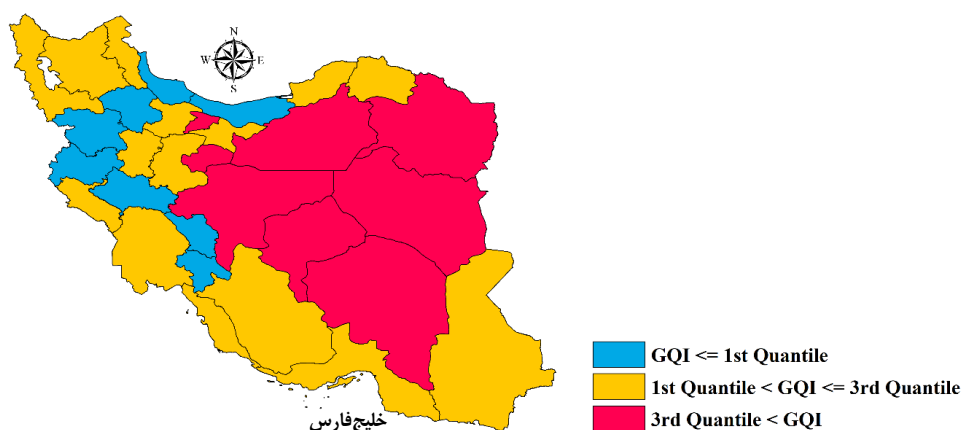


Figure 3. Classification of Iran's provinces based on quartiles of groundwater quality index (GQI)

### ۳.۲. الگوسازی

پس از محاسبه شاخص کیفیت اطلاعات مربوط به متغیرهای مستقل نیز جمع آوری شدند. شاخص های ترکیبی زیرساخت های تصفیه و پوشش و جمع آوری فاضلاب نیز براساس روش آنتروپی ساخته شدند. اطلاعات آمار توصیفی مربوط به متغیرهای مستقل در جدول (۶) آورده شده است.

Table 6. Descriptive statistics of independent variables

	TotalPop	IrrArea	AgVA	IndVA	GWLevel	Precip	SewA	SewB
Average	2,563,096.81	271,730.02	9,220,707.52	23,512,081.22	32.08	311.17	0.35	0.33
SD	2,403,869.31	222,798.45	3,612,328.62	34,563,779.15	17.20	194.81	0.18	0.21
Minimum	564,000.00	52,028.00	1,940,362.2	1,397,827.3	2.54	23.70	0.04	0.00
Maximum	13,807,000.00	1,014,384.00	20,235,291.54	220,207,333.40	64.07	1,104.10	0.95	0.96

پیش از برآورد الگوی کوانتایل به روش گشتاوری اقدام به انجام آزمون همبستگی فضایی I موران بر روی متغیر شاخص کیفیت آب زیرزمینی شده است. نتایج این آزمون در جدول (۷) آورده شده اند و همان طور که مشخص است در هیچ یک از سال های مورد بررسی همبستگی فضایی در میان مقادیر شاخص کیفیت مشاهده نمی شود. در نتیجه استفاده از الگوی کوانتایل با ارباب ناشی از اثرات فضایی روبه رو نخواهد بود و استفاده از آن بلا مانع است.

Table 7. Moran's I test for spatial correlation between neighboring provinces' GQI

Year	Moran's I	Z statistics	Year	Moran's I	Z statistics
2013	-0.152	-1.071	2017	-0.137	-0.945
2014	-0.149	-1.039	2018	-0.151	-1.077
2015	-0.147	-1.025	2019	-0.145	-1.029
2016	-0.152	-1.071			

\*, \*\*, \*\*\* are respectively indicating significance at 10%, 5% and 1%.

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد الگوهای کوانتایل به‌روش گشتاوری تشکیل شده از دو جزء ۱- مکان-مقیاس و ۲- رگرسیون کوانتایل می‌باشند که نتایج حاصل از برآورد هریک از این دو بخش به‌ترتیب در جدول‌های (۸) و (۹) آورده شده است. همان‌طور که در نتایج الگوی مکان در جدول (۸) مشخص است ضرایب متغیرهای لگاریتم جمعیت ( $\ln(\text{TotalPop})$ )، لگاریتم سرانه ارزش افزوده بخش کشاورزی ( $\ln(\text{AgVa})$ )، لگاریتم سرانه ارزش افزوده بخش صنعت ( $\ln(\text{IndVa})$ ) و لگاریتم عمق منابع آب زیرزمینی ( $\ln(\text{GWLevel})$ ) همگی مثبت و از نظر آماری معنی‌دار هستند. این یعنی این متغیرها فارغ از این که شاخص کیفیت آب زیرزمینی در چه سطحی باشد (یا به‌عبارت دیگر به‌ازای تمام کوانتایل‌های توزیع احتمال شاخص کیفیت) همواره دارای ضرایبی با علامت مثبت هستند و افزایش به افزایش و کاهششان به کاهش شاخص کیفیت آب زیرزمینی منتهی می‌شود. ضرایب متغیرهای توان دوم لگاریتم سرانه ارزش افزوده بخش کشاورزی ( $\ln(\text{AgVa})^2$ ) و صنعت ( $\ln(\text{IndVa})^2$ ) نیز در الگوی مکان دارای ضرایبی با علامت منفی و معنی‌دار می‌باشند که یعنی ضرایب این دو متغیر نیز در سراسر توزیع متغیر وابسته دارای علامت منفی است. از آنجایی که مطابق با جدول (۳) منفی بودن ضریب این دو متغیر در کنار مثبت بودن ضرایب توان اول آن‌ها بیانگر برقراربودن فرضیه محیط زیستی کوزنتس است، بنابراین با توجه به الگوی مکان به‌ازای تمام مقادیر شاخص کیفیت آب زیرزمینی علامت ضرایب این متغیرها با برقراری فرضیه محیط زیستی کوزنتس مطابقت دارد. اگرچه معنی‌داربودن یا نبودن برقراری این فرضیه به‌ازای کوانتایل‌های مختلف می‌باید با توجه به نتایج حاصل از برآورد رگرسیون کوانتایل در جدول (۹) موردبررسی قرار گیرد. در الگوی مقیاس نیز مشاهده می‌شود که به‌جز ضریب برآوردی برای متغیر  $\ln(\text{Precip})$  سایر ضرایب برآوردی در هیچ سطحی معنی‌دار نمی‌باشند. این به این معنی است ضریب متغیر  $\ln(\text{Precip})$  با افزایش شاخص کیفیت آب زیرزمینی (حرکت به سوی کوانتایل‌های فوقانی) از نظر مقداری دچار کاهش معنی‌داری می‌شود.

Table 8. Estimation results of Location-Scale functions

	Model 1: Location Function		Model 2: Scale Function	
	Coefficient	Standard Error	Coefficient	Standard Error
Constant	-32.855***	11.830	-0.546	6.663
Socioeconomic Factors				
$\ln(\text{TotalPop})$	0.798**	0.354	0.094	0.174
$\ln(\text{IrrArea})$	0.050	0.051	-0.032	0.031
$\ln(\text{AgVA})$	2.797*	1.431	-0.109	0.736
$\ln(\text{IndVA})$	0.334*	0.176	0.115	0.113
$\ln(\text{AgVA})^2$	-0.088*	0.044	0.003	0.023
$\ln(\text{IndVA})^2$	-0.010*	0.005	-0.004	0.003
Sewage Infrastructures				
$\ln(\text{SewA})$	-0.058	0.036	0.003	0.022
$\ln(\text{SewB})$	-0.015***	0.005	-0.001	0.003
Natural Factors				
$\ln(\text{GWLevel})$	0.010*	0.006	-0.003	0.003
$\ln(\text{Precip})$	-0.015	0.016	-0.021**	0.009

\*, \*\*, \*\*\* are respectively indicating significance at 10%, 5% and 1%.

اگرچه براساس نتایج الگوی مقیاس در جدول (۸) ضرایب برآوردی برای تمام متغیرهای مستقل به‌جز

In(Precip) به‌ازای کوانتایل‌های مختلف از نظر مقداری تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند، اما با توجه به جدول (۹) وضعیت معنی‌داری ضرایب این متغیرها با تغییر در کوانتایل دچار تغییرات قابل توجهی می‌شود. مطابق با جدول (۹) به‌ازای کوانتایل ۲۵ درصد بغیر از عرض از مبدأ تنها ضرایب مربوط به لگاریتم جمعیت (In(Pop))، لگاریتم عمق آب زیرزمینی (In(GWLevel)) و لگاریتم شاخص ترکیبی توسعه‌یافتگی زیرساخت‌های پوشش و جمع‌آوری فاضلاب (In(SewB)) معنی‌دار می‌باشند، اما با حرکت به سوی کوانتایل‌های فوقانی که در برگزیده نواحی با سطوح بالاتری از آلودگی آب زیرزمینی هستند هم تعداد ضرایب معنی‌دار و هم سطح معنی‌داری ضرایب رگرسیونی به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج الگوسازی به‌ازای کوانتایل ۲۵ درصد می‌توان گفت که استان‌هایی که از سطوح پایینی از شاخص کیفیت برخوردار بوده‌اند و آب‌های زیرزمینی‌شان کیفیت نسبتاً بالایی داشته‌اند - نظیر استان‌های واقع در حاشیه دریای خزر و رشته کوه زاگرس - به مراتب کم‌تر از استان‌هایی که از سطوح متوسط و بالایی از شاخص کیفیت برخوردار بوده‌اند - نظیر استان‌های واقع در فلات مرکزی و حاشیه خلیج فارس - از عوامل انسانی متأثر شده‌اند. اصلی‌ترین عامل در نوسانات کیفیت منابع آب زیرزمینی در این استان‌ها نیز رشد جمعیت، نوسانات عمق منابع آب زیرزمینی و وضعیت زیرساخت‌های فاضلاب بوده است. با این حال نتایج الگوسازی به‌ازای کوانتایل‌های ۵۰ و ۷۵ درصد نشان می‌دهد که کیفیت منابع آب زیرزمینی در استان‌هایی که دارای سطوح متوسط و بالایی از شاخص کیفیت آب زیرزمینی بوده‌اند به‌طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی - بالخصوص فعالیت‌های کشاورزی - قرار داشته است. در ادامه این بخش تلاش می‌شود تا آثار ناشی از هر یک از متغیرهای مستقل بر روی متغیر وابسته به‌ازای کوانتایل‌های مختلف مورد بررسی قرار بگیرد.

**Table 9.** Estimation results of fixed effects quantile regression via generalized method of moments

	$\tau = 25\%$		$\tau = 50\%$		$\tau = 75\%$	
	Coefficient	Robust SE <sup>†</sup>	Coefficient	Robust SE <sup>†</sup>	Coefficient	Robust SE <sup>†</sup>
Constant	-32.326**	15.413	-32.897***	11.654	-33.302***	11.063
Socioeconomic Factors						
ln(TotalPop)	0.707*	0.407	0.806**	0.353	0.875**	0.368
ln(IrrArea)	0.082	0.067	0.048	0.051	0.024	0.050
ln(AgVA)	2.903	1.871	2.789**	1.406	2.708**	1.272
ln(IndVA)	0.223	0.229	0.343**	0.175	0.428**	0.177
ln(AgVA) <sup>2</sup>	-0.091	0.058	-0.088**	0.043	-0.085**	0.039
ln(IndVA) <sup>2</sup>	-0.006	0.007	-0.010**	0.005	-0.013**	0.005
Sewage Infrastructures						
ln(SewA)	-0.061	0.048	-0.058*	0.035	-0.055*	0.033
ln(SewB)	-0.013**	0.007	-0.015***	0.004	-0.016***	0.004
Natural Factors						
ln(GWLevel)	0.013*	0.008	0.010*	0.006	0.008*	0.005
ln(Precip)	0.005	0.018	-0.016	0.016	-0.032*	0.019
Chi square	33.90***		49.12***		63.93***	

\* \*\*, \*\*\* are respectively indicating significance at 10%, 5% and 1%.

<sup>†</sup> Clustered robust standard errors.

### ۳.۲.۱. اثرات ناشی از رشد جمعیت

مطابق با جدول (۹) ضرایب متغیر لگاریتم جمعیت (ln(TotalPop)) به‌ازای هر سه کوانتایل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد به‌ترتیب در سطوح ۱۰-، پنج و پنج درصد معنی‌دار و برابر با ۰/۷۰۷، ۰/۸۰۶ و ۰/۸۷۵ می‌باشد. این ضرایب یعنی به‌ازای کوانتایل‌های ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد هر یک درصد افزایش در جمعیت به‌ترتیب به افزایش ۰/۷۰۷، ۰/۸۰۶ و ۰/۸۷۵ درصدی شاخص کیفیت منتهی می‌شود که به معنی بدتر شدن وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی است. این مقادیر از اثرگذاری به‌ازای هر سه کوانتایل در مقایسه با سایر ضرایب جزو بزرگ‌ترین ضرایب به‌حساب می‌آیند که این بیانگر اثر قابل توجهی است که رشد جمعیت می‌تواند

بر کیفیت منابع آب زیرزمینی داشته باشد. با این حال در استان‌هایی که کیفیت آب زیرزمینی بالایی دارند و شاخص کیفیتشان اندک است اثرگذاری جمعیت بر کیفیت آب زیرزمینی به مراتب مهم‌تر از اثرگذاری آن در استان‌هایی است که آب‌های زیرزمینی‌شان کیفیت متوسط و یا کمی دارد، زیرا به‌ازای کوانتایل ۲۵ درصد با توجه به بی‌معنی بودن سایر ضرایب برآوردی، عامل جمعیت عملاً جزو اصلی‌ترین عوامل در افت کیفی منابع آب زیرزمینی به حساب می‌آید.

### ۳.۲.۲. اثرات ناشی از فعالیت‌های کشاورزی

همان‌طور که از جدول (۹) مشخص است ضرایب سه متغیر لگاریتم سطح زیرکشت ( $\ln(\text{IrrArea})$ )، سرانه ارزش افزوده بخش کشاورزی ( $\ln(\text{AgVa})$ ) و توان دوم لگاریتم سرانه ارزش افزوده بخش کشاورزی ( $\ln(\text{AgVa})^2$ ) به‌ازای کوانتایل ۲۵ درصد در هیچ سطحی معنی‌دار نمی‌باشند. در نتیجه در نواحی‌ای که شاخص کیفیت آب زیرزمینی اندک است و این منابع از کیفیت بالایی برخوردار می‌باشند فعالیت‌های کشاورزی در مقیاس استانی اثر معنی‌داری بر کیفیت آب‌های زیرزمینی نداشته‌اند. این موضوع به‌طور عمده ناشی از این است که جز در استان مازندران و تا حدودی گیلان در سایر استان‌هایی که کیفیت آب زیرزمینی بالایی دارند (نظیر کرمانشاه، لرستان، کردستان، کهگیلویه و بویراحمد و چهارمحال بختیاری) فعالیت‌های کشاورزی هم از نظر سطح زیرکشت و هم از نظر ارزش افزوده محدودتر از سایر استان‌ها می‌باشند و علاوه بر آن کشاورزی دیم که مصرف کود و سموم شیمیایی بسیار کم‌تری نسبت به کشاورزی آبی دارد نیز اغلب سهم بسیار بالایی در فعالیت‌های کشاورزی این استان‌ها دارد (Ministry of Agriculture Jihad, 2020). بنابراین دور از انتظار نیست که آثار سوء فعالیت‌های کشاورزی بر آب‌های زیرزمینی در این استان‌ها بیش‌تر محدود به مقیاس‌های جغرافیایی خرد باشد و در مقیاس کلان استانی این آثار بی‌معنی باشند. ضرایب متغیر  $\ln(\text{IrrArea})$  به‌ازای کوانتایل‌های ۵۰ و ۷۵ درصد نیز بی‌معنی است و در نتیجه تغییرات سطح زیرکشت اساساً اثر معنی‌داری بر تغییرات سطح کیفیت منابع آب زیرزمینی برجای نمی‌گذارد. با این حال ضرایب متغیر  $\ln(\text{AgVa})$  به‌ازای کوانتایل‌های ۵۰ و ۷۵ درصد در سطح ۵ درصد معنی‌دار و به‌ترتیب برابر با ۲/۷۸۹ و ۲/۷۰۸ می‌باشند که هر دو از نظر مقداری جزء بزرگ‌ترین ضرایب برآوردی به حساب می‌آیند و این موضوع بیانگر نقش چشم‌گیر رشد اقتصادی در بخش کشاورزی بر افزایش آلودگی منابع آب زیرزمینی در استان‌های دارای آب‌های با کیفیت متوسط و پایین نظیر استان‌های واقع در حوضه‌های آبریز فلات مرکزی (نظیر اصفهان، یزد، سمنان، خراسان رضوی)، خلیج فارس و دریای عمان (نظیر خوزستان، بوشهر، هرمزگان، سیستان و بلوچستان) و دریاچه ارومیه (نظیر آذربایجان شرقی و غربی) است. در واقع رشد اقتصادی در بخش کشاورزی ایران از آنجایی که اغلب با افزایش مصرف نهاده‌های شیمیایی نظیر کود و انواع سموم همراه است (Najafabadi et al., 2022) به قیمت افت کیفیت منابع آب زیرزمینی در این نواحی تمام شده است.

متغیر  $\ln(\text{AgVa})^2$  نیز به‌ازای کوانتایل‌های ۵۰ و ۷۵ درصد در سطح پنج درصد معنی‌دار و به‌ترتیب برابر با ۰/۰۸۸- و ۰/۰۸۵- می‌باشند که با توجه به جدول (۳) به معنی برقراربودن فرضیه کوزنتس میان رشد اقتصادی در بخش کشاورزی و کیفیت منابع آب زیرزمینی در این نواحی می‌باشد. این یعنی با تداوم رشد اقتصادی در بخش کشاورزی به تدریج از آثار سوء آن بر کیفیت منابع آب زیرزمینی کاسته می‌شود. یکی از اصلی‌ترین عللی که می‌تواند به برقراری فرضیه محیط زیستی کوزنتس میان بخش کشاورزی و بخش آب کمک شایانی کند افزایش به‌کارگیری سامانه‌های نوین آبیاری است (Hosseinzadeh et al., 2022) که با کاهش حجم زهاب کشاورزی می‌تواند به تدریج از آثار سوء ناشی از فعالیت‌های کشاورزی بر کیفیت منابع آب زیرزمینی بکاهد.



### ۳.۲.۳. اثرات ناشی از فعالیت های صنعتی

دو متغیر لگاریتم سرانه ارزش افزوده بخش صنعت ( $\ln(\text{IndVa})$ ) و توان دوم آن ( $\ln(\text{IndVa})^2$ ) متغیرهایی هستند که اثرات ناشی از فعالیت های صنعتی بر روی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی را مورد ارزیابی قرار می دهند. ضریب متغیر  $\ln(\text{IndVa})$  به ازای کوانتایل ۲۵ درصد در هر سطحی از نظر آماری بی معنی است، اما به ازای کوانتایل های ۵۰ و ۷۵ درصد دارای ضرایبی معنی دار در سطح پنج درصد می باشد که به ترتیب برابر هستند با ۰/۳۴۳ و ۰/۴۲۸ و بیانگر افزایش ۰/۳۴۳ و ۰/۴۲۸ درصدی در شاخص کیفیت آب زیرزمینی در پی وقوع هر یک درصد رشد اقتصادی در بخش صنعت می باشند. نحوه جانمایی صنایع سنگین در ایران یکی از عوامل مهم اثرگذار بر کیفیت منابع آب زیرزمینی است (Maghrebi et al., 2021) و از آنجایی که این صنایع اغلب در محدوده حاشیه خلیج فارس و بخش هایی از فلات مرکزی متمرکز شده اند، بنابراین انتظار می رود که یکی از اصلی ترین دلایل معنی دار بودن ضرایب  $\ln(\text{IndVa})$  به ازای کوانتایل های ۵۰ و ۷۵ درصد نیز همین شیوه جانمایی فعالیت های صنعتی باشد. هم چنین لازم به توجه است که ضرایب برآوردی برای متغیر  $\ln(\text{IndVa})$  به طور قابل ملاحظه ای کوچک تر از ضرایب  $\ln(\text{TotalPop})$  و  $\ln(\text{AgVa})$  می باشند که یعنی لاقبل از نظر آن دسته از پارامترهای کیفی که در ساخت شاخص کیفیت آب زیرزمینی به کار گرفته شده اند فعالیت های صنعتی به طور کلی فعالیت های پاکیزه تری نسبت به سایر فعالیت های انسانی به حساب می آیند. متغیر  $\ln(\text{IndVa})^2$  نیز به ازای هر دو کوانتایل ۵۰ و ۷۵ درصد در سطح ۵ درصد معنی دار و برابر با ۰/۰۲۰- و ۰/۰۱۳- می باشد. بنابراین فرضیه محیط زیستی کوزنتس در خصوص ارتباط میان رشد اقتصاد صنعتی و افزایش آلودگی منابع آب زیرزمینی در استان هایی که از سطوح متوسط و یا پایینی از کیفیت آب های زیرزمینی برخوردار هستند نظیر اصفهان، یزد، خراسان رضوی و خوزستان برقرار می باشد که یعنی رشد اقتصادی در بخش صنعت در این نواحی به افزایش آلودگی منابع آب زیرزمینی منتهی می شود، اما این اثر سوء به تدریج با افزایش رشد اقتصادی در این بخش کاهش می یابد.

### ۳.۲.۴. اثرات ناشی از توسعه زیرساخت های فاضلاب

نتایج جدول (۹) نشان می دهد که ضرایب رگرسیونی برآورد شده برای متغیر لگاریتم شاخص ترکیبی توسعه یافتگی زیرساخت های تصفیه فاضلاب ( $\ln(\text{SewA})$ ) برای کوانتایل های ۵۰ و ۷۵ درصد در سطح ۱۰ درصد معنی دار و به ترتیب برابر با ۰/۰۵۸- و ۰/۰۵۵- می باشد. این یعنی به ازای این دو کوانتایل با هر یک درصد افزایش در توسعه یافتگی زیرساخت های تصفیه فاضلاب مقدار شاخص کیفیت به ترتیب به اندازه ۰/۰۵۸ و ۰/۰۵۵ درصد کاهش می یابد که این بیانگر اثر معنی داری است که جلوگیری از رهاسازی انواع فاضلاب شهری و صنعتی به محیط زیست و زمینه سازی به منظور بازچرخانی آب می تواند در ارتقای کیفی منابع آب زیرزمینی داشته باشد. ضرایب مربوط به لگاریتم شاخص ترکیبی توسعه یافتگی زیرساخت های پوشش و جمع آوری ( $\ln(\text{SewB})$ ) نیز به ازای هر سه کوانتایل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد در سطح یک درصد معنی دار و به ترتیب برابر با ۰/۰۱۳-، ۰/۰۱۵- و ۰/۰۱۶- می باشد. همان طور که از مقایسه ضرایب برآوردی برای دو متغیر  $\ln(\text{SewA})$  و  $\ln(\text{SewB})$  مشخص است قدرمطلق ضرایب برآوردی برای  $\ln(\text{SewA})$  حدوداً پنج برابر بزرگ تر از قدر مطلق ضرایب برآوردی برای  $\ln(\text{SewB})$  می باشند که یعنی همان طور که انتظار می رود توسعه زیرساخت های تصفیه فاضلاب اثر به مراتب بیش تری از توسعه زیرساخت های پوشش و جمع آوری فاضلاب بر بهبود وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی دارد.

### ۳.۲.۵. اثرات عوامل طبیعی

از میان ضرایب برآوردی برای متغیر لگاریتم ارتفاع بارش ( $\ln(\text{Precip})$ ) تنها ضریب برآوردی به‌ازای کوانتایل ۷۵ درصد در سطح ۱۰ درصد معنی‌دار است و ضرایب برآوردشده به‌ازای سایر کوانتایل‌ها در هر سطحی بی‌معنی می‌باشند. متغیر لگاریتم عمق منابع آب زیرزمینی ( $\ln(\text{GWLevel})$ ) نیز به‌ازای هر سه کوانتایل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد دارای ضرایبی معنی‌دار در سطح ۱۰ درصد می‌باشد که به‌ترتیب برابر هستند با ۰/۰۱۳، ۰/۰۱۰ و ۰/۰۰۸. این اثرات معنی‌دار یعنی کیفیت آب‌های زیرزمینی از کمیت آن جدا نمی‌باشد و افزایش عمق آب‌های زیرزمینی به افت کیفیت این منابع منتهی می‌شود. اگرچه علل وجود این رابطه در هر آبخوان و در هر حوضه آبریز می‌تواند متفاوت باشد اما برخی از عواملی که می‌توان در این راستا برشمرد عبارتند از نفوذ آب شور (عموماً در نزدیکی سواحل و یا دریاچه‌های نمکی) در پی افزایش عمق آب‌های زیرزمینی (Ebrahimi et al., 2016)، مختل شدن اندرکنش آبخوان با جریانات سطحی (Mirmohammad, 2018)، افزایش غلظت آلاینده‌ها در پی کاهش حجم آب زیرزمینی (Uhl et al., 2022) و یا حتی برخورد کردن لایه‌های پایینی آبخوان‌ها از مواد معدنی آلاینده (Pak and Mohseni Movahhed, 2017).

### ۴. نتیجه‌گیری

اگرچه در گذشته مطالعات متعددی به ارزیابی وضعیت کیفی منابع آب زیرزمینی در اقصی نقاط ایران پرداخته‌اند، اما تا به حال مطالعه‌ای در صدد پاسخ به این سؤال برنیامده که فعالیت‌های انسانی چگونه و تا چه میزان بر سطح کیفی این منابع اثرگذار هستند. این خلأ عملاً باعث شده تا آثار ناشی از عوامل مختلف انسانی نظیر رشد اقتصادی، رشد جمعیت و مدیریت فاضلاب بر وضع کیفی منابع آب زیرزمینی نامشخص باشد و در نتیجه برنامه‌ریزی در خصوص هریک از این عوامل با در نظر گرفتن تعاملات آن با کیفیت آب‌های زیرزمینی نیز دچار ابهام باشد. به‌منظور پرکردن این خلأ، در این مطالعه ابتدا اقدام به ساخت شاخص کیفیت آب زیرزمینی شد و سپس تلاش شد تا با به‌کارگیری الگوهای رگرسیون کوانتایل میزان اثرگذاری عوامل مختلف بر تغییرات کیفی منابع آب زیرزمینی مورد ارزیابی و بررسی قرار بگیرد. نتایج حاصل از الگوسازی نشان داد که در استان‌های دارای سطوح متوسط و یا زیادی از شاخص کیفیت، اصلی‌ترین عامل آلوده‌کننده آب‌های زیرزمینی رشد اقتصادی در بخش کشاورزی می‌باشد به‌طوری‌که به‌طور متوسط هر یک درصد رشد اقتصادی در بخش کشاورزی شاخص کیفیت را حدوداً ۲/۷ درصد افزایش می‌دهد. به همین سبب مدیریت کیفی منابع آب زیرزمینی در این استان‌ها تا حد زیادی وابسته به مدیریت مصرف نهاده‌هایی نظیر کود شیمیایی و سم می‌باشد. همچنین براساس نتایج الگوسازی افزایش عمق منابع آب زیرزمینی نیز به تنزل کیفیت این منابع منتهی می‌شود و از آنجایی که فعالیت‌های کشاورزی یکی از عوامل اثرگذار بر نوسانات عمق منابع آب زیرزمینی به‌حساب می‌آیند. بنابراین افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی اگر همراه با کاهش کل حجم برداشت از آب‌های زیرزمینی باشد می‌تواند به‌طور غیرمستقیم باعث حفاظت از شرایط کیفی این منابع شود. البته لازم به ذکر است که افزایش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی می‌باید با مدیریت سطح زیرکشت همراه شود تا همانند بسیاری از تجربیات شکست خورده قبلی اثر معکوس بر عمق و کیفیت منابع آب زیرزمینی برجای نگذارد.

براساس نتایج حاصل از الگوی کوانتایل در استان‌های دارای سطوح متوسط و زیادی از شاخص کیفیت، رشد اقتصادی در بخش صنعت و معدن نیز تأثیر معنی‌داری بر آلودگی منابع آب زیرزمینی برجای می‌گذارد که البته میزان اثرگذاری آن نسبت به اثرگذاری رشد اقتصادی در بخش کشاورزی به مراتب کم‌تر است، به‌طوری‌که هر یک درصد رشد اقتصادی در این بخش تنها در حدود ۰/۳۴۳ الی ۰/۴۲۸ درصد به افزایش شاخص کیفیت منتهی می‌شود. از آنجایی که

منشأ آلاینده‌گی بخش صنعت و معدن عموماً به تولید فاضلاب صنعتی باز می‌گردد، بنابراین ارتقای زیرساخت‌های تصفیه فاضلاب می‌تواند یک راه‌کار مؤثر به‌منظور مدیریت پساب صنعتی به‌حساب بیاید. علاوه بر این، ارتقای زیرساخت‌های فاضلاب بستری برای پیاده‌سازی اقتصاد چرخشی و بازچرخانی آب را فراهم می‌آورد که به‌طور اخص در استان‌های دارای تنش آبی می‌تواند به کاهش فشار تقاضا از روی منابع آب زیرزمینی منتهی شود و به‌طور غیرمستقیم کیفیت منابع آب زیرزمینی را افزایش بدهد. از آنجایی که براساس نتایج الگوسازی هر یک درصد افزایش در شاخص‌های ترکیبی توسعه‌یافتگی زیرساخت‌های تصفیه و جمع‌آوری فاضلاب به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد شاخص کیفیت را کاهش می‌دهند. بنابراین می‌توان گفت که ارتقای این زیرساخت‌ها در عمل نیز توانسته تا آثار سوء ناشی از انواع پساب شهری و صنعتی را به‌طور معنی‌داری کاهش بدهد. به همین سبب می‌توان گفت که آثار سوء ناشی از جمعیت که هر یک درصد رشد آن به‌طور متوسط ۰/۷۹ درصد شاخص کیفیت را افزایش داده نیز از طریق افزایش سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های فاضلاب تا حدودی قابل مدیریت می‌باشد.

## ۵. پی‌نوشت‌ها

1. Panel data
2. Location-Scale families
3. Independent and Identically Distributed (iid)
4. Generalized Method of Moments (GMM).
5. Location function
6. Scale function
7. Spatial weight matrix
8. Contiguity
9. Elasticity
10. Quartile

## ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. منابع

- Abbasnia, A., Yousefi, N., Mahvi, A. H., Nabizadeh, R., Radfard, M., Yousefi, M., & Alimohammadi, M. (2019). Evaluation of groundwater quality using water quality index and its suitability for assessing water for drinking and irrigation purposes: Case study of Sistan and Baluchistan province (Iran). *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(4), 988-1005.
- Amiri, V., Kamrani, S., Ahmad, A., Bhattacharya, P., & Mansoori, J. (2021). Groundwater quality evaluation using Shannon information theory and human health risk assessment in Yazd province, central plateau of Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 1108-1130.
- Amiri, V., Rezaei, M., & Sohrabi, N. (2014). Groundwater quality assessment using entropy weighted water quality index (EWQI) in Lenjanat, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 72(9), 3479-3490.
- Badeenezhad, A., Tabatabaee, H. R., Nikbakht, H.-A., Radfard, M., Abbasnia, A., Baghapour, M. A., & Alhamd, M. (2020). Estimation of the groundwater quality index and investigation of the affecting factors their changes in Shiraz drinking groundwater, Iran. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100435.
- Barzegar, R., Asghari Moghaddam, A., Soltani, S., Fijani, E., Tziritis, E., & Kazemian, N. (2019). Heavy metal(oid)s in the groundwater of Shabestar area (NW Iran): Source identification and health risk assessment. *Exposure and Health*, 11(4), 251-265.

- Caetano, R. V., Marques, A. C., & Afonso, T. L. (2023). Can sustainable development induce foreign direct investment? Analysis of the complex inward and outward flows of investment in European Union countries. *Journal of the Knowledge Economy*.
- Choi, J., Hearne, R., Lee, K., & Roberts, D. (2015). The relation between water pollution and economic growth using the environmental Kuznets curve: a case study in South Korea. *Water International*, 40(3), 499-512.
- Danielopol, D. L., Griebler, C., Gunatilaka, A., & Notenboom, J. (2003). Present state and future prospects for groundwater ecosystems. *Environmental Conservation*, 30(2), 104-130.
- Dasgupta, S., Laplante, B., Wang, H., & Wheeler, D. (2002). Confronting the environmental Kuznets curve. *The Journal of Economic Perspectives*, 16(1).
- Ebrahimi, M., Kazemi, H., Ehtashemi, M., & Rockaway, T. D. (2016). Assessment of groundwater quantity and quality and saltwater intrusion in the Damghan basin, Iran. *Geochemistry*, 76(2), 227-241.
- Ghobaishavi, F., Akbari, A., Dadras Moghadam, & Hoseini, S. M. (2021). Urbanization, water pollution and economic growth in provinces of Iran with spatial panel approach. *Journal of Water and Wastewater*, 32(6), 48-57. (In Persian).
- Givi, M., Jahangiri-Rad, M., & Tashauoei, H. (2020). Assessment of groundwater quality in the Jajrood river basin, Tehran, Iran: A coupled physicochemical and hydrogeochemical study. *Journal of Advances in Environmental Health Research*, 9(3), 237-254.
- Glanville, K., Sheldon, F., Butler, D., & Capon, S. (2023). Effects and significance of groundwater for vegetation: A systematic review. *Science of The Total Environment*, 875, 162577.
- Gnangnon, S. K. (2023). Effect of the shadow economy on Tax reform in developing countries. *Economies*, 11(3), 96.
- Hosseinzadeh Talae, P. (2015). Analysis of groundwater quality in the northwest of Iran. *Desalination and Water Treatment*, 56(9), 2323-2334.
- Hosseinzadeh, M., Saghalian, S. H., Nematollahi, Z., & Shahnoushi Foroushani, N. (2022). Water consumption and economic growth: evidence for the environmental Kuznets curve. *Water International*, 47(8), 1333-1348.
- Ike, G. N., Usman, O., & Sarkodie, S. A. (2020). Testing the role of oil production in the environmental Kuznets curve of oil producing countries: New insights from Method of Moments Quantile Regression. *Science of The Total Environment*, 711, 135208.
- Kim, H. R., Yu, S., Oh, J., Kim, K. H., Oh, Y. Y., Kim, H. K., Park, S., & Yun, S. T. (2019). Assessment of nitrogen application limits in agro-livestock farming areas using quantile regression between nitrogen loadings and groundwater nitrate levels. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 286, 106660.
- Koch, J., Gotfredsen, J., Schneider, R., Trolborg, L., Stisen, S., & Henriksen, H. J. (2021). High resolution water table modeling of the shallow groundwater using a Knowledge-Guided Gradient Boosting Decision Tree model. *Frontiers in Water*, 3, 701726.
- Koenker, R. (2004). Quantile regression for longitudinal data. *Journal of Multivariate Analysis*, 91(1), 74-89.
- Land, E., & Peters, C. N. (2023). Groundwater impacts on stream biodiversity and communities: a review. *Journal of Freshwater Ecology*, 38(1).
- Lee, C. C., Chiu, Y. B., & Sun, C. H. (2010). The environmental Kuznets curve hypothesis for water pollution: Do regions matter?. *Energy policy*, 38(1), 12-23.
- Li, F., Wei, W., Zhao, Y., & Qiao, J. (2017). Groundwater depth prediction in a shallow aquifer in north China by a quantile regression model. *Hydrogeology Journal*, 25(1), 191-202.
- Li, H., Calder, C. A., & Cressie, N. (2007). Beyond Moran's I: Testing for spatial dependence based on the spatial autoregressive model. *Geographical Analysis*, 39(4), 357-375.
- Li, M., Wang, J., & Chen, Y. (2019). Evaluation and influencing factors of sustainable development capability of agriculture in countries along the Belt and Road route. *Sustainability*, 11(7), 2004.
- Li, P., Karunanidhi, D., Subramani, T., & Srinivasamoorthy, K. (2021). Sources and consequences of groundwater contamination. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(1), 1-10.
- Liu, H., & Song, Y. (2020). Financial development and carbon emissions in China since the recent world financial crisis: Evidence from a spatial-temporal analysis and a spatial Durbin model. *Science of The Total Environment*, 715, 136771.
- Machado, J. A. F., & Santos Silva, J. M. C. (2019). Quantiles via moments. *Journal of Econometrics*, 213(1), 145-173.

- Maghrebi, M., Noori, R., Partani, S., Araghi, A., Barati, R., Farnoush, H., & Torabi Haghighi, A. (2021). Iran's groundwater hydrochemistry. *Earth and Space Science*, 8(8).
- Mahaqi, A. (2021). Groundwater quality for drinking and agricultural purposes, Saleh Abad (NE Iran): geochemical and statistical approaches. *Carbonates and Evaporites*, 36(3), 58.
- Ministry of Agriculture Jihad. (2020). 2018-2019 Statistical yearbook of Agriculture, Retrieved from: <https://amar.maj.ir/page-amar/FA/65/form/pId3352>.
- Mirmohammad Sadeghi, M., Ebrahimi, B., & Pasandi, M. (2018). Groundwater depletion and stream-aquifer interaction (Case study: The Najafabad Aquifer in Zayandehroud River basin). *Water and soil science*, 22(2), 107-125. (In Persian).
- Mirzavand, M., Ghasemieh, H., Javad Sadatinejad, S., & Bagheri, R. (2020). Delineating the source and mechanism of groundwater salinization in crucial declining aquifer using multi-chemo-isotopes approaches. *Journal of Hydrology*, 586, 124877.
- Najafabadi, M. M., Mirzaei, A., Laskookalayeh, S. S., & Azarm, H. (2022). An investigation of the relationship among economic growth, agricultural expansion and chemical pollution in Iran through decoupling index analysis. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(50), 76101–76118.
- Nasrabadi, T., Nabi Bidhendi, G. R., Karbassi, A. R., Hoveidi, H., Nasrabadi, I., Pezeshk, H., & Rashidinejad, F. (2009). Influence of Sungun copper mine on groundwater quality, NW Iran. *Environmental Geology*, 58(4), 693-700.
- Nassiri, M., & Mehdienejad, M. H. (2022). Groundwater quality assessment of north of Iran (Golestan Province) using multivariate factor analysis and GIS techniques. *Water Practice and Technology*, 17(6), 1284-1293.
- Noori, R., Hooshyaripor, F., Javadi, S., Dodangeh, M., Tian, F., Adamowski, J. F., Berndtsson, R., Baghvand, A., & Klöve, B. (2020). PODMT3DMS-Tool: proper orthogonal decomposition linked to the MT3DMS model for nitrate simulation in aquifers. *Hydrogeology Journal*, 28(3), 1125-1142.
- Noori, R., Maghrebi, M., Mirchi, A., Tang, Q., Bhattarai, R., Sadegh, M., Noury, M., Torabi Haghighi, A., Klöve, B., & Madani, K. (2021). Anthropogenic depletion of Iran's aquifers. *Scientific Reports*, 11(25).
- Pak, Z., & Mohseni Movahhed, S. (2017). The effects of excessive withdrawal and recent droughts on Saveh Plain aquifer. *Iran-Water Resources Research*, 13(4), 154-160. (In Persian).
- Paolo Miglietta, P., De Leo, F., & Toma, P. (2017). Environmental Kuznets curve and the water footprint: an empirical analysis. *Water and Environment Journal*, 31(1), 20-30.
- Pashaeifar, M., Dehghanzadeh, R., Ramazani, M. E., Rafieyan, O., & Nejaei, A. (2021). Spatial and temporal assessment of groundwater quality and hydrogeochemical processes in Urmia Lake Basin, Iran. *Water Supply*, 21(8), 4328-4342.
- Paudel, K. P., Zapata, H., & Susanto, D. (2005). An empirical test of environmental Kuznets curve for water pollution. *Environmental and Resource Economics*, 31(3), 325-348.
- Raifu, I. A., & Aminu, A. (2023). The effect of military spending on economic growth in MENA: evidence from method of moments quantile regression. *Future Business Journal*, 9(1), 7.
- Saatsaz, M., Sulaiman, W. N. A., Eslamian, S., & Mohammadi, K. (2013). Hydrogeochemistry and groundwater quality assessment of Astaneh-Kouchesfahan Plain, Northern Iran. *International Journal of Water*, 7(1/2), 44.
- Sadeghi, S. H., Nouri, H., & Faramarzi, M. (2017). Assessing the spatial distribution of rainfall and the effect of altitude in Iran (Hamadan Province). *Air, Soil and Water Research*, 10.
- Seidmohammadi, A., Sharifi, Z., Faradmali, J., Norouzi, H. A., Rafati, Lida, Aleseyeyed, S. B., & Asadi, F. (2020). Assessment of groundwater quality in west metropolitan of Iran: An application of GIS and modeling. *Environmental Quality Management*, 29(4), 59-72.
- Sheikhy Narany, T., Ramli, M. F., Aris, A. Z., Sulaiman, W. N. A., & Fakharian, K. (2014). Spatiotemporal variation of groundwater quality using integrated multivariate statistical and geostatistical approaches in Amol-Babol Plain, Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 186(9), 5797-5815.
- Shin, J., You, H., Kaown, D., Koh, E. H., Lee, S., Lim, C. Y., & Lee, K. K. (2021). Investigating distribution of nitrate concentration using ensemble nonparametric quantile regression. *Science of The Total Environment*, 777, 146098.
- Tarawneh, M. S. M., Janardhana, M. R., & Ahmed, M. M. (2019). Hydrochemical processes and groundwater quality assessment in North eastern region of Jordan valley, Jordan. *HydroResearch*, 2, 129-145.

- Thompson, A., & Thompson, A. (2014). Environmental Kuznets curve for water pollution: The case of border countries. *Modern Economy*, 5(1), 66-69.
- Uhl, A., Hahn, H. J., Jäger, A., Luftensteiner, T., Siemensmeyer, T., Döll, P., Noack, M., Schwenk, K., Berkhoff, S., Weiler, M., Karwautz, C., & Griebler, C. (2022). Making waves: Pulling the plug- Climate change effects will turn gaining into losing streams with detrimental effects on groundwater quality. *Water Research*, 220, 118649.
- Uribe, J. M., & Guillen, M. (2020a). *Quantile regression: A methodological overview*. In *Quantile Regression for Cross-Sectional and Time Series Data* (pp. 13-19). Cham: Springer.
- Uribe, J. M., & Guillen, M. (2020b). *Why and when should quantile regression be used?* In *Quantile Regression for Cross-Sectional and Time Series Data* (pp. 1-5). Cham: Springer.
- Vesali Naseh, M., Noori, R., Berndtsson, R., Adamowski, J., & Sadatipour, E. (2018). Groundwater pollution sources apportionment in the Ghaen plain, Iran. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(1), 172.
- Waldmann, E. (2018). Quantile regression: A short story on how and why. *Statistical Modelling*, 18(3-4), 203-218.
- World Health Organization. (1997). *Guidelines for drinking water quality. Recommendations* (4th ed.). World Health Organization.