



The effects of using treated municipal wastewater on groundwater quality of north of Isfahan

Mehdi Panahi^{1✉}, Hamid Reza Rahmani¹, Hossein Sharifi¹

1. Corresponding Author, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran, Email: panahimehdi@yahoo.com

2. Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran, Email: rahmani.hrhr@gmail.com

3. Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran, Email: h_sharifi2003@yahoo.com

Article Info

ABSTRACT

Article type: Research Article

Article history:

Received: June. 1, 2022

Revised: Dec. 25, 2022

Accepted: Jan. 9, 2023

Published online: Feb. 20, 2022

Keywords:

Groundwater,
Chemical Quality,
Wastewater,
Agriculture.

In order to investigate the effect of using treated wastewater in agriculture on the chemical quality of groundwater at the northern region of Isfahan, an area of 6000 hectares was studied during the years 2018 and 2019 by sampling 46 wells. The location of the studied wells was in two areas under long-term irrigation with effluent for at least 10 years and the control area. Chemical parameters of the samples such as electrical conductivity (EC), chemical reaction (pH), anions including bicarbonate, sulfate, chloride, nitrate and cations including calcium, magnesium and sodium were measured. The results showed that the effect of using treated wastewater on groundwater quality of the region, in shallow and deep wells has a different behavior. Due to the long-term use of treated wastewater for irrigation of agricultural lands, none of the chemical parameters of the deep wells were significant in compared to the control area. But, in area with shallow groundwater, the chemical parameters of EC, bicarbonate (HCO₃) and chlorine (Cl) were significant at 5% level as compared to the control. Most of the wells in this area are deep and only 8% of the wells are shallow. Therefore, according to the results, the use of treated wastewater for agriculture in this region has a negligible effect on the chemical quality of deep groundwater and therefore is recommended for use in agriculture.

Cite this article: Panahi, M., Rahmani, H. R., & Sharifi, H. (2023). The effects of using treated municipal wastewater on groundwater quality of north of Isfahan, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (12), 2873-2884. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.343913.669283>

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.343913.669283>

اثرات استفاده از پساب فاضلاب شهری بر کیفیت آب زیرزمینی شمال اصفهان

مهدی پناهی^{۱*}، حمیدرضا رحمانی^۲، حسین شریفی^۳

۱. نویسنده مسئول، بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: panahimehdi@yahoo.com

۲. بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: rahmani.hrhr@gmail.com

۳. بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. رایانامه: h_sharifi2003@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	به منظور بررسی تاثیر استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی بر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی در منطقه شمال اصفهان، منطقه‌ای به وسعت ۶۰۰۰ هکتار، در طی سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ با نمونه برداری از تعداد ۴۶ حلقه چاه، مورد بررسی قرار گرفت. موقعیت چاه‌های مورد مطالعه، در دو ناحیه تحت آبیاری درازمدت با پساب حداقل به مدت ۱۰ سال و ناحیه شاهد قرار داشت. ویژگی‌های کیفیت شیمیایی نمونه‌ها شامل هدایت الکتریکی (EC)، واکنش شیمیایی (pH)، آنیون‌ها شامل بیکربنات، سولفات، کلور، نیترات و کاتیون‌ها شامل کلسیم، منیزیم و سدیم بود. نتایج نشان داد تاثیر استفاده از پساب فاضلاب تصفیه شده بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، در چاه‌های کم عمق و عمیق رفتار متفاوت دارد. به طوری که در اثر مصرف درازمدت پساب فاضلاب تصفیه شده برای آبیاری اراضی کشاورزی، هیچ کدام از پارامترهای کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی، برای نمونه‌ها در چاه‌های عمیق نسبت به منطقه شاهد معنی دار نبود و برای نمونه‌ها در چاه‌های کم عمق نسبت به منطقه شاهد، برای پارامترهای شیمیایی EC، بی‌کربنات (HCO ₃) و کلر (Cl) در سطح احتمال پنج درصد دارای اختلاف آماری معنی دار و برای سایر پارامترهای شیمیایی غیر معنی دار بود. بیشتر چاه‌های این منطقه عمیق بوده و تنها ۸ درصد چاه‌ها در محدوده تحت آبیاری با پساب، کم عمق هستند. لذا با توجه به نتایج، استفاده از پساب تصفیه شده برای کشاورزی در این منطقه، تاثیر ناچیزی بر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی عمیق داشته و بنابراین از نظر کاربرد در کشاورزی با رعایت سایر موارد زیست محیطی قابل توصیه است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۱۱	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۴	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۱۹	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۲/۱	
واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، کیفیت شیمیایی، پساب، کشاورزی.	

استناد: پناهی؛ مهدی؛ رحمانی؛ حمیدرضا؛ شریفی؛ حسین، (۱۴۰۱). اثرات استفاده از پساب فاضلاب شهری بر کیفیت آب زیرزمینی شمال اصفهان، ۵۳ (۱۲)، ۲۸۷۳-۲۸۸۴

<https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.343913.669283>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.343913.669283>

مقدمه

آلاینده‌ها و یون‌های خاک در آب حل می‌شوند، در نهایت به سفره آب زیرزمینی می‌رسند و باعث بدتر شدن کیفیت آب زیرزمینی می‌گردند (SubbaRao *et al.*, 2018). جهت بررسی تغییرات ویژگی‌های شیمیایی آبخوان‌ها در اثر مصرف پساب، مطالعات مختلفی صورت گرفته است (Taany *et al.*, 2009; Demir *et al.*, 2009; Sutharsiny *et al.*, 2012; Ostovari, 2012; Khanamani, 2014; Malakotian & Karami, 2004, Heshmati & Beigi, 2012). تخلیه پساب دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن در منطقه سرخون هرمزگان نشان داد غلظت پارامترهای شیمیایی نمونه‌های آب زیرزمینی در همه چاه‌های مورد بررسی افزایش یافت. لذا اجرای مقررات برای جلوگیری از تخلیه پساب دستگاه‌های آب‌شیرین‌کن به آب‌های زیرزمینی پیشنهاد گردید (Kamali maskoni *et al.*, 2020). در آریزونا آمریکا مقادیر غلظت نترات پساب فاضلاب بررسی و نتیجه گرفته شد که امکان آلودگی آب‌های زیرزمینی در اثر عدم کنترل بر روی استفاده از پساب فاضلاب وجود دارد (Lauer, 2000). در تحقیقی در تصفیه‌خانه شوش در جنوب تهران در نمونه‌های آب آشوبی شده به عنوان نمادی از آب‌های زیرزمینی، غلظت‌هایی از فلزات سنگین مشاهده شد. بیشترین غلظت فلز سنگین در آب آشوبی به ترتیب مربوط به عنصر نیکل و روی و کمترین غلظت مربوط به عنصر سرب بود (Behbahaninia & Mirbagheri, 2008).

در لئون^۱ و دره مزکویتال^۲ مکزیک در بررسی اثرات زیست‌محیطی آبیاری با پساب بر آب زیرزمینی، غلظت‌های بالای کلیفرم‌های مدفوعی و کل در هر دو سایت ثبت شد که نشان می‌داد باکتری‌های مدفوع از طریق زیرسطحی منتقل شده‌اند. سطح آلودگی زیرسطحی تحت تأثیر عوامل مکانی و زمانی قرار گرفت که غلظت‌های کلیفرم بالاتر در اعماق کمتر از ۱۰ متر زیر سطح و بالای سطح آب و در طول فصل مرطوب رخ می‌داد. غلظت نترات بالا در تمام آب‌های زیرزمینی دره مزکویتال پیدا شد. بنابراین، به نظر می‌رسد آبیاری فاضلاب تأثیر منفی بر کیفیت آب زیرزمینی داشته است. بنابراین تصفیه فاضلاب قبل از آبیاری و مدیریت دقیق آبیاری توصیه گردید (Gallegos *et al.*, 1999). تأثیر پساب‌های شهرک صنعتی مراغه بر آلودگی آب‌های زیرزمینی دشت مراغه - بناب با تعداد ۹۲ نمونه آب از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات منطقه و از پساب‌های صنعتی بررسی و نتیجه گرفته شد که خواص هیدروشیمیایی نمونه‌های این چاه‌ها با خواص پساب‌های صنعتی همخوانی داشته و آلودگی‌های شدید ایجاد شده در قسمتی از دشت نتیجه تأثیر پساب‌های صنعتی بر منابع آب زیرزمینی است (Asghari moghadam & Mahmoudi, 2008).

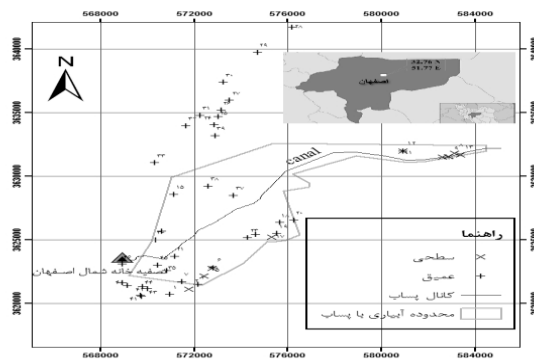
در حوضه آبخیز کوهپایه - سگری شامل اراضی تحت پوشش شبکه آبیاری و زه‌کشی آبشار و رودستین ضرایب هیدرودینامیک منابع آب زیرزمینی برآورد و نتیجه گیری شد که تغذیه منابع آب زیرزمینی آبخوان سطحی به عمق ۵ تا ۷۰ متر بیشتر از طریق تغذیه سطحی و مرزهای سیستم صورت می‌گیرد و مناطق تحت پوشش کانال‌های آبیاری آبشار و رودستین بیشترین مقدار تغذیه را دارد. همچنین تغذیه سفره آب زیرزمینی سطحی حتی تا عمق ۷۰ متری بیشتر متأثر از نشت آب از رودخانه و کانال‌های شبکه آبیاری آبشار و رودستین است اگر چه به نظر می‌رسد بیشترین مقدار مربوط به رودخانه باشد زیرا کانال‌های آبیاری، پوشش دار از نوع بتنی هستند. اما به هر حال این کانال‌ها نیز مقداری نشت خواهند داشت (Abedikopaie & Golabchian, 2015). این موضوع نشان‌دهنده این واقعیت است که در صورت جاری شدن پساب به جای آب، امکان تغییر کیفیت شیمیایی و یا آلودگی سفره آب زیرزمینی سطحی وجود خواهد داشت. لذا بررسی امکان آلودگی و تغییر کیفیت شیمیایی منابع آب سفره آب زیرزمینی از اهمیت زیادی برخوردار بوده و هدف از اجرای این تحقیق بررسی تأثیر استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب در کشاورزی بر کیفیت شیمیایی آب‌های زیرزمینی چاه‌های محدوده تصفیه‌خانه شمال اصفهان بویژه چاه‌های کم عمق محدوده مطالعاتی بود.

روش تحقیق

این تحقیق در منطقه شمال شهرستان اصفهان از زیر حوضه اصفهان برخوردار و نجف آباد در محدوده‌ی حدود ۶۰۰۰ هکتار در طی سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ اجرا شد. این منطقه در مجاورت تصفیه‌خانه شمال اصفهان و در ناحیه غربی اراضی فرودگاه شهید بهشتی در استان اصفهان قرار دارد. موقعیت این منطقه به همراه موقعیت تصفیه‌خانه، کانال انتقال پساب، چاه‌های کم عمق و عمیق در شکل ۱ نشان داده شده است.

1 - Leon

2 - Mezquital Valley



شکل ۱- موقعیت چاه‌های کم عمق (سطحی) و عمیق و محدوده مطالعاتی در اطراف تصفیه‌خانه شمال اصفهان

در بررسی میدانی، محدوده‌ای که کشاورزان از پساب خروجی تصفیه‌خانه شمال اصفهان از زمان بهره‌برداری از این تصفیه‌خانه تاکنون به مدت حداقل ۱۰ سال استفاده می‌کنند شناسایی شد. این محدوده بفاصله تقریبی یک کیلومتر از دو طرف کانال خروجی پساب از تصفیه‌خانه بود. موقعیت ۴۶ حلقه چاه در داخل و خارج محدوده شناسایی گردید. از این تعداد، هشت حلقه چاه، سطحی به عمق ۲۰ تا ۳۰ متر و ۳۸ حلقه چاه، نیمه عمیق و عمیق به عمق ۷۰ تا ۱۸۰ متر بود. در واقع در منطقه مورد بررسی در ناحیه‌ی مجاورت کانال انتقال پساب، علاوه بر آبخوان اصلی بدلیل وجود نشت از کانال که در بیشتر مسیر خود خاکی بود، آبخوان سطحی وجود داشت که تراز آب در این چاه‌ها حدود ۲۵ متر بود. موقعیت جغرافیایی چاه‌های مطالعاتی در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین نمونه آب از چاه‌ها در ناحیه دیگری که تاکنون از پساب فاضلاب استفاده نشده بود به عنوان منطقه شاهد، برداشت و تجزیه پارامترهای شیمیایی انجام و برای مقایسه با منطقه تحت آبیاری با پساب در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج این مطالعه بافت خاک در اطراف کانال انتقال پساب در برخی نقاط (عمدتاً ابتدای مسیر کانال) سنگین و از نوع لوم رسی است و در مابقی مسیر کانال بافت خاک، سبک و از نوع لوم شنی است. بنابراین تغذیه سفره آب زیرزمینی سطحی منطقه از طریق استفاده از پساب به دو طریق نشت از کانال انتقال پساب و نفوذ پساب به اعماق خاک در اثر آبیاری با پساب مصرفی برای اراضی کشاورزی اتفاق می‌افتد. پس از شناسایی چاه‌های موجود، مختصات مکانی آنها تعیین شد. در مرحله بعد، نمونه‌برداری از چاه‌های هر دو منطقه جهت تعیین مقادیر پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی انجام شد. تجزیه‌های مورد نیاز شامل هدایت الکتریکی (EC)، واکنش شیمیایی (pH)، آنیون‌ها شامل بی‌کربنات، سولفات، کلرور، نیترات و کاتیون‌ها شامل کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم بود. غلظت عناصر با روش‌های مورد تایید موسسه تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (Binam, 1999).

به منظور بررسی درصد فراوانی مقادیر غلظت سدیم و کلر و مقادیر پارامتر هدایت الکتریکی (EC) مربوط به نمونه‌های آب گرفته شده از چاه‌ها، ابتدا دامنه تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده هر پارامتر شیمیایی بررسی و دسته‌بندی شد و سپس فراوانی و درصد فراوانی هر یک از دسته‌ها برای هر پارامتر در نرم افزار اکسل (EXCEL) محاسبه گردید. دسته‌بندی مقادیر پارامترهای شیمیایی بر مبنای طبقه‌بندی سازمان خوار و بار جهانی (FAO) همراه با در نظر گرفتن درجه تحمل به شوری برای کشت گیاهان مختلف در منطقه لحاظ گردید (Pescod, 2001). مقایسه غلظت عناصر شیمیایی مانند نیترات در نمونه‌های آب چاه‌ها با حدود مجاز استاندارد ملی ایران (IRNDOE)، فائو (FAO)، استاندارد زیست محیطی اروپا (EPA)، و سازمان بهداشت جهانی (WHO) که نشان دهنده امکان آلوده شدن آب‌های زیرزمینی است انجام گردید تا در صورت وجود غلظت‌های بالاتر از حد مجاز برای پارامترهای شیمیایی توصیه‌ها و ملاحظات لازم برای مصرف در کشاورزی ارائه گردد.

پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان در چندین نوبت نمونه‌برداری و پارامترهای شیمیایی آن با روش‌های توصیه شده توسط موسسه تحقیقات خاک و آب در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب اندازه‌گیری شد (Mohammadi et al., 2000). مقادیر پارامترهای شیمیایی پساب خروجی از تصفیه‌خانه با مقادیر استانداردهای ملی ایران (IRNDOE)، فائو (FAO)، استاندارد زیست محیطی اروپا (EPA)، و سازمان بهداشت جهانی (WHO) مقایسه شد.

به منظور بررسی تاثیر استفاده درازمدت از پساب تصفیه‌شده برای اراضی کشاورزی منطقه بر کیفیت شیمیایی آب چاه‌های مورد مطالعه و آب‌های زیرزمینی، نتایج آنالیز پارامترهای شیمیایی آب در چاه‌هایی که در محدوده استفاده درازمدت از پساب تصفیه‌شده قرار داشت با منطقه شاهد در دو گروه چاه‌های عمیق و چاه‌های کم عمق به روش آماری t-test و روش گرافیکی مورد مقایسه و تجزیه تحلیل قرار گرفت.

نتایج

کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه شمال اصفهان در مجاورت منطقه مطالعاتی

میانگین پارامترهای شیمیایی پساب فاضلاب شهری تصفیه‌خانه شمال اصفهان در سال‌های ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ به همراه حدود مجاز ارائه شده توسط استاندارد ملی ایران، سازمان خوار و بار جهانی، فائو (FAO)، استاندارد زیست محیطی اروپا (EPA)، و سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای پارامترهای شیمیایی و آلودگی پساب‌ها در جداول ۱ و ۲ آورده شده است.

جدول ۱- دامنه مقادیر برخی پارامترهای شیمیایی پساب فاضلاب شهری تصفیه‌خانه شمال اصفهان (۱۳۹۷-۱۳۹۸) و استانداردهای مختلف استفاده از پساب برای آبیاری (Rahmani et al., 2022)

پارامتر	PH	EC (ds/m)	آنیون (meq/lit)			کاتیون (meq/lit)		
			NO ₃ ⁻ (mg/lit)	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ⁺	
دامنه تغییرات	۶/۷۳ - ۷/۳۵	۱/۰۳ - ۱/۵۴	۰/۱ - ۱۱/۶	۳/۲ - ۶/۴	۴/۴ - ۷/۲	۰/۸ - ۵/۶	۲/۸ - ۱۰/۸	۲/۷ - ۸/۴
میانگین	۷/۱۰	۱/۲۱	۳/۳۴	۴/۵۳	۵/۵۳	۲/۹۲	۶/۳۷	۶/۳۹
استاندارد ملی ایران (IRNDOE)	۸-۶/۵	-	-	-	۱۶/۹	-	-	-
سازمان خوار و بار جهانی، فائو (FAO)	۶/۸-۵/۴	۰/۷	۵	۱/۵	۴	-	-	۳
استاندارد زیست محیطی اروپا (EPA)	۶/۸-۵/۴	۰/۷	-	-	۲/۸	-	-	۳
سازمان بهداشت جهانی (WHO)	۸-۶/۵	۰/۷	۵	-	۳	-	-	۳

جدول ۲- غلظت عناصر سنگین پساب فاضلاب شهری تصفیه‌خانه شمال اصفهان (۱۳۹۷-۱۳۹۸)

شش ماهه	Mn	Cu	Zn	Fe	Pb	Cd	Co	Cr
دامنه مقادیر	۰-/۱۳	۰-/۰۲	۰-/۰۴	۰-/۱۷	۰-/۱	۰-/۰۳	۰-/۰۴	۰-/۰۹
	۰/۰۱	LD	LD	LD	LD	۰	۰/۰۱	۰/۰۳
استاندارد ملی ایران (IRNDOE)	۱	۰/۲	۲	۳	۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۲
سازمان خوار و بار جهانی، فائو (FAO)	۰/۲	۰/۲	۲	۵	۰/۲	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱
استاندارد زیست محیطی اروپا (EPA)	۰/۲	۰/۲	۱	۵	۵	۰/۰۱	۰/۰۵	۰/۱
سازمان بهداشت جهانی (WHO)	۰/۲	۰/۲	۲	۵	۵	۰/۰۱	-	۰/۱

LD: حد تشخیص دستگاه^۱

جدول ۱ مقادیر پارامترهای pH، EC، کاتیون‌ها و آنیون‌های اندازه‌گیری شده در پساب را نشان می‌دهد. جدول ۲ غلظت عناصر میکرو و عناصر سنگین موجود در پساب را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد میانگین مقادیر اسیدیته (pH) و هدایت الکتریکی (EC)، غلظت نیترات و عناصر آهن، مس، منگنز و روی در پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری خروجی تصفیه‌خانه شمال اصفهان کمتر از حدود مجاز استاندارد ملی ایران (IRNDOE) بود. غلظت عناصر سنگین شامل سرب (Pb)، کادمیم (Cd)، کبالت (Co) و کروم (Cr) در پساب فاضلاب شهری شمال اصفهان نیز ناچیز و کمتر از حدود مجاز استاندارد ملی ایران بود. تنها غلظت سدیم و کلر در پساب کمی بیشتر از حدود مجاز استاندارد بود. لذا از این نظر و با رعایت آبشویی و لحاظ کردن سایر جنبه‌های بهداشتی و زیست محیطی، محدودیتی جهت استفاده در کشاورزی نخواهد داشت.

کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه

نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های گرفته شده از چاه‌های منطقه، تغییرات زیادی را در غلظت کلر، سدیم و شوری آب زیرزمینی نشان داد. جدول ۳، میانگین، حداکثر، حداقل و انحراف معیار غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها و پارامترهای واکنش شیمیایی (pH)، هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذبی سدیم (SAR) را در نمونه آب چاه‌های منطقه شاهد و آبیاری شده با پساب به عنوان نمادی از کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی منطقه نشان می‌دهد.

جدول ۳- مقادیر میانگین، حداکثر و حداقل پارامترهای کیفیت شیمیایی آب چاه‌های منطقه اطراف تصفیه‌خانه شمال اصفهان (برای ۴۶ فقره چاه)

NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁺	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Cl ⁻	SAR	PH	EC (ds/m)	پارامتر آماری
meq/lit									
۸/۳	۲۲/۹	۲۷/۱	۴/۸	۳۹/۹	۴۰/۵	۱۰/۶	۶/۹۸	۶/۳	میانگین
۱۵/۲	۶۲/۵	۵۶/۴	۸/۴	۱۰۸/۸	۱۰۶	۲۴/۲	۷/۸۴	۱۴	حداکثر
۰/۲۱	۴/۰۶	۶/۴	۱/۷	۱۲/۶	۱۱/۶	۵/۷	۶/۵۳	۱/۸	حداقل
۳/۹۹	۱۳/۷۳	۱۳/۰۵	۱/۵۱	۲۳/۱	۲۲/۱۹	۴/۳۲	۰/۲۶	۳/۲۱	انحراف معیار

همانطور که جدول ۳ نشان می‌دهد، میانگین پارامترهای کلر و سدیم به ترتیب ۴۰/۵ و ۳۹/۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر و EC برابر ۶/۳ دسی‌زیمنس بر متر بود. شکل ۲ درصد فراوانی کلر، شکل ۳ درصد فراوانی سدیم و شکل ۴ درصد فراوانی EC را در آب چاه‌های مطالعه شده منطقه نشان می‌دهد.

شکل ۲ نشان می‌دهد که درصد فراوانی پارامتر کلر در محدوده‌های مقادیر کمتر از ۱۰، بین ۱۰ و ۳۵، بین ۳۵ تا ۷۰ و بیشتر از ۷۰ میلی‌اکی‌والان در لیتر به ترتیب صفر، ۴۶، ۴۱ و ۱۳ درصد بود.

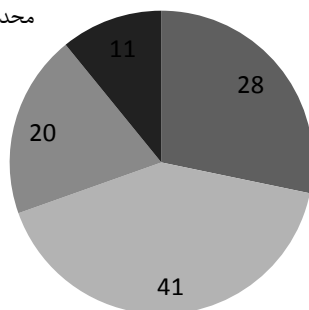
شکل ۳ نشان می‌دهد درصد فراوانی پارامتر سدیم در محدوده‌های مقادیر کمتر از ۲۳، بین ۲۳ و ۴۶، بین ۴۶ تا ۶۹ و بیشتر از ۶۹ میلی‌اکی‌والان در لیتر به ترتیب ۲۸، ۴۱، ۲۰ و ۱۱ درصد بود.

شکل ۴ درصد فراوانی پارامتر EC در محدوده‌های مقادیر کمتر از ۰/۷، بین ۰/۷ و ۳، بین ۳ تا ۶، بین ۶ تا ۱۲ و بیشتر از ۱۲ دسی‌زیمنس بر متر را به ترتیب صفر، ۱۵، ۳۵، ۴۳ و هفت درصد نشان می‌دهد. تنها در ۱۵ درصد از چاه‌های مطالعه شده، EC آب کمتر از حد آستانه سه دسی‌زیمنس بر متر و ۷۵ درصد بیشتر از این مقدار بود. مقدار سه دسی‌زیمنس بر متر حد آستانه پیشنهاد شده از طرف سازمان FAO برای EC آب به منظور مصرف کشاورزی می‌باشد.

فراوانی سدیم (meq/lit)

محدوده های غلظت (meq/lit)

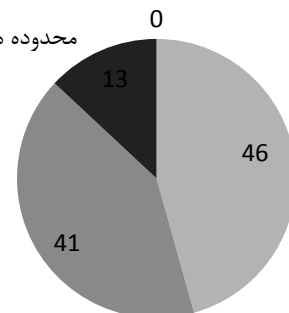
- ≤23
- (23,46]
- (46,69]
- >69



فراوانی کلر (meq/lit)

محدوده های غلظت (meq/lit)

- ≤10
- (10,35]
- (35,70]
- >70



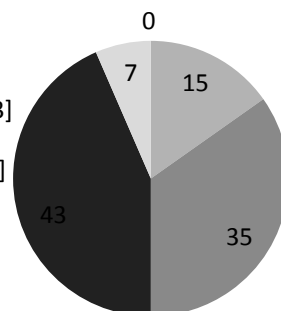
شکل ۳- درصد فراوانی مقادیر غلظت سدیم (میلی‌اکی‌والان در لیتر) در چاه‌های مطالعه شده

شکل ۲- درصد فراوانی مقادیر غلظت کلر (میلی‌اکی‌والان در لیتر) در چاه‌های مطالعه شده

فراوانی EC (ds/m)

محدوده های EC (ds/m)

- ≤0.7
- (0.7,3]
- (3,6]
- (6,12]
- >12



شکل ۴- درصد فراوانی پارامتر هدایت الکتریکی در چاه‌های مطالعه شده (دسی‌زیمنس بر متر)

اثر مصرف پساب بر کیفیت آب‌های زیرزمینی

مقایسه آماری پارامترهای شیمیایی آب چاه‌های منطقه‌ی با مصرف درازمدت پساب با منطقه شاهد با استفاده از روش آزمون t جفتی (T-test) انجام و نتایج مقایسه میانگین آن برای چاه‌های عمیق در جدول ۴ و برای چاه‌های کم‌عمق در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۴- مقایسه میانگین پارامترهای کیفیت آب به روش آزمون t در سطح احتمال ۵٪ در چاه‌های عمیق در منطقه شمال اصفهان

NO3	SO4	Ca+Mg	SAR	Na	Cl	HCO3	PH	EC	
۳/۶۵	۱۸/۲	۲۰/۳۴	۳/۸	۲۶/۳	۲۹/۳۳	۲/۳۶	۰/۲۹۶	۴/۳۳	انحراف معیار اختلاف
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	درجه آزادی موثر
۰/۶۶۸	۰/۴۵۳	۰/۳۰۰	۰/۹۳۷	۰/۵۳۹	۰/۳۷۰	۰/۱۱۵	۰/۱۵۵	۰/۴۰۶	احتمال t
t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	نتیجه فرضیه (برابری میانگین‌ها)
نشد	نشد	نشد	دار نشد	دار نشد	دار نشد	دار نشد	نشد	دار نشد	

جدول ۴ نشان می‌دهد اختلاف معنی‌دار در هیچ‌کدام از پارامترهای EC، pH، HCO₃، Cl، Na، SAR، Ca، Mg، SO₄ و NO₃ در سطح احتمال ۵ درصد بین نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های عمیق، در دو منطقه‌ی شاهد و منطقه‌ی مصرف درازمدت پساب وجود ندارد که نشان‌دهنده عدم تاثیر معنی‌دار مصرف درازمدت پساب بر روی آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های عمیق منطقه می‌باشد. نتایج آزمون t جفتی برای چاه‌های کم‌عمق در جدول ۵ ارائه گردیده است.

جدول ۵- مقایسه میانگین پارامترهای کیفیت شیمیایی آب به روش آزمون t در سطح احتمال ۵٪ در چاه‌های کم‌عمق در منطقه شمال اصفهان

NO3	SO4	Ca+Mg	SAR	Na	Cl	HCO3	PH	EC (ds/m)	
۴/۱	۱۳/۳۸	۲۱/۷۹	۱۰/۳۷	۳۲/۲۶	۱۹/۷	۱/۶۸	۰/۳۳	۱/۹۴	انحراف معیار اختلاف
۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	۳	درجه آزادی موثر
۰/۶۸۰	۰/۱۲۰	۰/۳۷۶	۰/۴۰۵	۰/۱۴۳	۰/۰۴۷	۰/۰۲۷	۰/۲۷۲	۰/۰۲۶	احتمال t
t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	t معنی دار	نتیجه فرضیه (برابری میانگین‌ها)
نشد	نشد	نشد	نشد	نشد	شد	شد	نشد	شد	

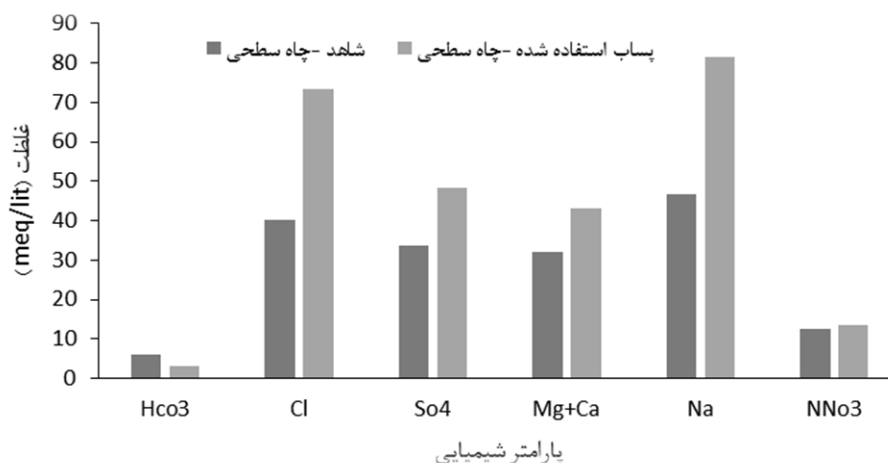
جدول ۵ نشان می‌دهد اختلاف معنی‌دار در پارامترهای pH، Na، SAR، Ca، Mg، SO₄، NO₃ در سطح احتمال ۵ درصد بین نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های سطحی، در دو منطقه‌ی شاهد و منطقه‌ی مصرف پساب وجود ندارد و تنها اختلاف معنی‌دار در پارامترهای EC، HCO₃ و Cl در سطح احتمال ۵ درصد بین نمونه‌های آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های کم‌عمق، در دو منطقه‌ی شاهد و منطقه‌ی مصرف پساب وجود داشت. که نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار مصرف درازمدت پساب بر روی آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های کم‌عمق منطقه برای این پارامترها بود. مقادیر میانگین پارامترهای کیفیت شیمیایی آب برای نمونه چاه‌های کم‌عمق که برخی از آن‌ها معنی‌دار شدند در دو منطقه‌ی مصرف درازمدت پساب و منطقه شاهد در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ۶- میانگین پارامترهای کیفیت شیمیایی آب در نمونه چاه‌های کم‌عمق منطقه شمال اصفهان

NO3	SO4	Ca+Mg	SAR	Na	Cl	HCO3	PH	EC (ds/m)	پارامتر شیمیایی
میلی اکی والان در لیتر									
۱۳/۷	۴۸/۴۹	۴۳/۳	۱۸/۱۶	۸۱/۳۷	۷۳/۵	۳/۲۰	۷/۱۳	۱۱/۷۰	مصرف پساب
۱۲/۷	۳۴/۰۸	۳۲/۰	۱۳/۱۴	۴۹/۵	۴۱/۵	۶/۶	۶/۹۱	۷/۷۰	شاهد (بدون مصرف پساب)

میانگین مقادیر پارامترهای EC و Cl به طور معنی‌دار نسبت به شاهد افزایش و تنها پارامتر HCO₃ به طور معنی‌دار نسبت به شاهد

کاهش داشت. در منطقه موز جاو^۱ در ایالت ساسکاچوان^۲ کانادا افزایش غلظت‌های سدیم، کلرور، سولفات و بیکربنات در آب‌های زیرزمینی کم عمق گزارش شد. در منطقه سویفت کارنت^۳ در همان ایالت در سال ۱۹۷۸ در مساحتی حدود ۳۳۸ هکتار، میزان کلرور، سختی، سدیم، سولفات و منگنز در آب‌های زیرزمینی کم عمق افزایش داشته است (Menely, 1975). تاثیر مصرف درازمدت پساب بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه‌ای که در آن از پساب استفاده شده بود، با مقایسه گرافیکی پارامترهای شیمیایی نمونه آب چاه‌های این منطقه با پارامترهای شیمیایی نمونه‌هایی که از چاه‌های خارج از این منطقه گرفته شده بود (منطقه شاهد) انجام گردید. شکل ۵ میانگین غلظت پارامترهای شیمیایی نمونه آب چاه‌های کم عمق را در منطقه‌ای که با پساب آبیاری شده و منطقه شاهد نشان می‌دهد.



شکل ۵- میانگین غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌ها در چاه‌های کم عمق (سطحی) منطقه‌ی آبیاری شده با پساب و منطقه شاهد

شکل ۵ نشان می‌دهد که میانگین غلظت پارامترهای کلر، سدیم، سولفات، نترات، کلسیم و منیزیم در منطقه مصرف پساب بیشتر از منطقه شاهد بوده است و تنها پارامتر بیکربنات دارای میانگین غلظت کمتر بوده است. کمتر بودن میانگین غلظت پارامتر بی کربنات در نمونه آب چاه‌های منطقه‌ی مصرف پساب می‌تواند بدلیل کم بودن مقدار غلظت این پارامتر در پساب مصرفی و خاک‌های منطقه باشد. تاثیر آبیاری با پساب بر روی افزایش پارامترهای شیمیایی آب زیرزمینی با سطح ایستابی بالا بویژه پارامترهای نیتروژن آمونیومی (N- NH4)، کلر (Cl)، سولفات (SO4) و سدیم (Na) نیز گزارش گردیده است (Paruch, 2014). شکل ۶ میانگین EC، pH و SAR نمونه‌های چاه‌های کم عمق در منطقه‌ی آبیاری شده با پساب و در منطقه شاهد را نشان می‌دهد.



شکل ۶- میانگین پارامترهای EC، pH و SAR در چاه‌های کم عمق (سطحی) منطقه‌ی آبیاری شده با پساب و منطقه شاهد

مقادیر میانگین پارامترهای EC و SAR در چاه‌های کم‌عمق منطقه‌ی آبیاری شده با پساب بیشتر از منطقه شاهد بود. این بدان معنی است که مصرف پساب بر افزایش پارامترهای EC و SAR تاثیر داشته است. افزایش پارامترهای EC و SAR در چاه‌های کم‌عمق منطقه‌ی آبیاری شده با پساب بیشتر می‌تواند بدین دلیل باشد که آبشویی خاک‌های شور اراضی تحت کشت منطقه در هنگام آبیاری با پساب، اغلب به روش آبیاری سطحی با راندمان پایین و دارای نفوذ عمقی صورت می‌گیرد. این موضوع باعث آبشویی املاح خاک به سمت پایین خواهد شد زیرا با توجه به بافت خاک سبک از نوع لومی شنی در بیشتر نقاط اطراف کانال انتقال پساب، نفوذپذیری خاک زیاد بوده و انتقال املاح در اثر آبشویی می‌تواند براحتی صورت گیرد. با انتقال شوری و املاح خاک در اثر آبشویی به آب زیرزمینی کم‌عمق، EC و برخی از املاح در نمونه‌های آب چاه‌های کم‌عمق در منطقه‌ی آبیاری شده با پساب افزایش یافته است. مطالعات اخیر نیز در زمینه افزایش پارامترهای شوری نشان داده است که غلظت کل مواد جامد محلول (TDS) در آب‌های زیرزمینی با توجه به خاک سطحی در مناطقی که در معرض آبیاری طولانی مدت با پساب فاضلاب قرار دارند، ممکن است تا ۴ برابر افزایش یابد، جایی که برخی املاح مانند کلرید در آب‌های زیرزمینی بدلیل تجمع نمک کلرید سدیم (NaCl) در خاک بسیار بیشتر از پساب متمرکز شده اند (Jampani et al., 2020). همچنین در مصر با آنالیز شش نمونه آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های کم عمق منازل روستایی مجاور دو تصفیه‌خانه قالیوب و شبرالخمیه، آلودگی فیزیکوشیمیایی و بیولوژی نمونه‌ها تایید گردید (Ayman et al., 2021).

نتیجه‌گیری

بررسی پارامترهای شیمیایی آب می‌تواند در طبقه بندی کیفیت آب‌های زیرزمینی در مناطق مختلف به منظور انتخاب گیاهان متحمل به شوری‌های مختلف به کار برده شود. استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری برای آبیاری می‌تواند موجب استفاده کمتر از آب‌های زیرزمینی و در نتیجه صرفه‌جویی در مصرف منابع آب زیرزمینی گردد. در این پژوهش تاثیر کاربرد درازمدت پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری تصفیه‌خانه شمال اصفهان در محدوده‌ی حدود ۶۰۰۰ هکتار از اراضی مجاور آن مورد بررسی قرار گرفت و نتایج آن نشان داد الف) میانگین پارامترهای شیمیایی پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شمال اصفهان کمتر از مقادیر حد مجاز استاندارد ملی ایران و استانداردهای فائو (FAO)، اروپا و سازمان بهداشت جهانی برای مصارف کشاورزی بود. ب) بررسی فراوانی مقادیر میانگین پارامتر هدایت الکتریکی (EC) نشان داد که در مجموع ۸۵ درصد آب‌های زیرزمینی منطقه از نظر کیفیت آب دارای EC بیشتر از ۳ دسی زیمنس بر متر و ۵۰ درصد آن دارای EC بیشتر از ۶ دسی زیمنس بر متر بوده و باید از گیاهان متحمل به شوری برای کشت در منطقه استفاده گردد. ج) تاثیر استفاده درازمدت از پساب فاضلاب تصفیه‌شده بر کیفیت آب‌های زیرزمینی منطقه، در چاه‌های کم‌عمق و عمیق رفتار متفاوتی را نشان داد به طوری که اثر مصرف درازمدت پساب فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری اراضی کشاورزی بر پارامترهای شیمیایی کیفیت آب زیرزمینی، در چاه‌های عمیق نسبت به منطقه شاهد اختلاف معنی‌داری نداشت و در چاه‌های کم‌عمق نسبت به منطقه شاهد برای پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، بی‌کربنات (HCO₃) و کلر (Cl) در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار بود که نشان‌دهنده تاثیر مصرف پساب بر روی آب زیرزمینی برداشت شده از چاه‌های کم‌عمق منطقه می‌باشد. بنابراین استفاده از پساب تصفیه‌شده فاضلاب شهری در این منطقه برای مصارف کشاورزی پس از بررسی از نظر میکربی که در این پژوهش مورد توجه قرار نگرفته است، می‌تواند مورد توصیه قرار گیرد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Abedikopaie, j. and Golabchian, M. (2015). Estimation of hydrodynamic coefficients of groundwater resources in the basin-Segxi watershed using modflow model. *Journal of Agricultural Science and Techniques, Soil and Water Sciences*, 19(72), 281-292. (In Persian)
- Asghari moghadam, A. and Mahmodi, N. (2008). The effect of maragheh industrial park wastewater on groundwater contamination of Maragheh-Bonab plain aquifer. *Journal of Environmental Studies*, 34(45), 15-22. (In Persian)
- Ayman, Y., Ewida, I., Khalil, M. and Ammar, A. (2021). Impact of domestic wastewater treatment plants on the quality of shallow groundwater in Qalyubia, Egypt; discrimination of microbial contamination source using box-pcr. *Egyptian Journal of Botany*, 61(1), 127-139.



- Behbahaninia, A. and, Mirbagheri, A. (2008). Investigating the probability of groundwater metal contamination due to heavy metal movement in wastewater and sludge irrigation soils. In: *Proceedings of Third Conference on Water Resources Management*. (In Persian)
- Binam (1999). Guidelines for laboratory analysis of soil and water samples. *vice presidency for planning and supervision*, No.467. (In Persian)
- Demir, Y., Erşahin, S., Güler, M., Cemek, B., Günal, H. and Arslan, H. (2009). Spatial variability of depth and salinity of groundwater under irrigated ustifluvents in the Middle Black Sea Region of Turkey, *Environ. Monit. Assess.*, 158 (1-4), 279-94.
- EPA. (1977). Process design manual for land treatment of municipal wastewater. Report 625/1-77-008. *Us Environment Protection Agency, Circinnatei, Ohio*.
- Gallegos, E., Warren, A, E. Robles, E., Campoy, E., Calderon, A. Sainz, Ma. G., Bonilla, P. and Escolero, O. (1999). The effects of wastewater irrigation on groundwater quality in Mexico. *Sci. Tech.*, 40(2), 45-52.
- Heshmati, S. and Beigi, H. (2012). Spatial variability and mapping of shahrekord groundwater quality for use in the design of irrigation systems. *Water Research in Agriculture*, 26(1), 43-59. (In Persian)
- Jampani, M., Liedl, R., Hülsmann, S., Sonkamble, S. and Amerasinghe, P. (2020). Hydrogeochemical and mixing processes controlling groundwater chemistry in a wastewater irrigated agricultural system of India. *Chemosphere*, 239, 124-141.
- Kamali Maskooni, E., Hashemi, H., Mazda Kompanizare, M., Daneshkar Arasteh, P., Vagharfard, H. and Berndtsson, R. (2020). Assessment of hydro-geochemical properties of groundwater under the effect of desalination wastewater discharge in an arid area. *Environmental Science and Pollution Research*, published online september 29, 2020 from <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10787-z>
- Khanamani, A., Dodangeh, E., Soleymani, F., Karimzade, H. R. and Soltani, S. (2014). Changes in chemistry of some growth chemicals of Esfahan Segzi plain. *Journal of Agricultural Science and Techniques, Soil and Water Sciences*, 18 (67), 59-68.
- Lauver, L. (2000). Nitrogen mass balance for municipal wastewater. *Practice periodical of Hazardous. Toxic and Radioactive waste management*, 4 (1), 36-38.
- Malakotian, M. and Karami, A. (2004). Investigation of chemical quality changes in groundwater resources in Bam and Bravat plain during 1997-2004. *Hormozgan Medical Journal*, 8 (2), 109- 116. (In Persian)
- Meneley, W. A. (1975). Moose Jaw effluent irrigation study Geology Division, SRC.
- Mohammadi, P., Siah, M. K., Ehteshami, M., Mehrdadi, N., Ashrafi, A., Liaghat, A., Ghoddosi, F., Adl, M. and Zarankabi, M. R. (2000). *Review of Wastewater quality guidelines for irrigation use*. Iranian National Commite Irrigation and Drainage, No.104 (In Persian)
- Ostovari, Y., Beigi H. and Davoodian, A. R. (2012). Spatial variation of nitrate in the Lordegan aquifer. *Water and Irrigation Management*, 2(1), 55-67. (In Persian)
- Paruch, A. M. (2014). The impact of wastewater irrigation on the chemical quality of groundwater. *Water and Environment Journal*, 28, 502-508.
- Pescod, M. B. (2001). Wastewater treatment and use in Agriculture. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 47*.
- Rahmani, H. R., Panahi, M. Sharifi, H. (2022). Investigation the quality of Isfahan North Wastewater Treatment Plant effluent for agricultural applications. *Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization. Report No. 59943*.
- SubbaRao, N., Sunitha, B., Rambabu, R., NageswaraRao, P. V., Surya Rao, P., Deepthi, S. B., Sravanthi, M. and Deepali, M. (2018). Quality and degree of pollution of groundwater, using PIG from a rural part of Telangana State, India. *Applied Water Science*, 8, 227-233.
- Sutharsiny, A., Pathmarajah, S., Thushyanthy, M. and Meththinka, V. (2012). Characterization of irrigation water quality of Chunnakam aquifer in Jaffna Peninsula. *Tropical Agricultural Research*, 23 (3), 237-248.
- Taany, R. A., Tahboub, A. B. and Saffarini, G. A. (2009). Geostatistical analysis of spatiotemporal variability of groundwater level fluctuations in Amman-Zarqa basin Jordan: a case study, *Environ. Geol.*, 57, 525-535.
- WHO. (1989). Health guidelines for the use of wastewater in agriculture. *Technical Report No. 778. WHO, Geneva*, 74 P.