

Research Paper

A Study on the Efficiency of Phytoremediation in Removing Water salinity in Artificial Surface Wetland

Mohsen Jahanezadeh, Masumeh Farasati, Ali Satarian, Habib khodaverdiloo

M.SC. Graduate, department of Watershed management, Agricultural Faculty, Gonbad Kavous University

Associate professor, Department of Watershed management, Agricultural Faculty, Gonbad Kavous University
(Corresponding Author)

Associate professor, Department of Biology, Faculty of Basic Science, Gonbad Kavous University

Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia



[10.22125/IWE.2023.375655.1692](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.375655.1692)

Received:
December 6, 2022
Accepted:
March 15, 2023
Available online:
December 30, 2023

Keywords:
wetland, salinity, Jagan
plant, phytoremediation

Abstract

In this research, nine numbers of systems were built and urban water flow was established continuously from December 2019 to June 2014. All systems were planted in the soil with different densities of 10, 20, 30 and 40 cm. The selected hydraulic retention time was 5 days, and for each retention time, this experiment was repeated in three stages, for six months. The concentration of calcium, magnesium, potassium, chlorine, carbonate, bicarbonate and EC input to the systems and their output were measured and the concentration changes were compared using SAS statistical software.

The comparison results of the average density of plant cultivation, changes in temperature, month, and their interaction in the efficiency of removing salinity parameters were observed to be significant at the 95% confidence level. Comparing the average effect of temperature on salinity removal showed a significant difference between the efficiency of salinity removal in some months of the year. The interaction effect showed that the highest salinity removal efficiency equal to 17.75% was obtained in the According to the results, it can be said that the highest average for the EC parameter occurred in December at a density of 40 cm and the lowest average value for a density of 20 cm occurred in April.

Keywords: Artificial wetland, Salinity, Crop density, Retention time, Swamp palm, Phytoremediation.

1. Introduction

Background and purpose: The phytoremediation process is a relatively new technology for purifying contaminated water and soil, and it does not have any destructive effects on the environment, and it is a sustainable, low-cost, easy and environmentally friendly method. The most important factor in the implementation of plant remediation is the selection of the appropriate plant species, which must have a high ability to absorb organic and inorganic pollutants, adapt and grow well in polluted environments (water and soil), and reproduce easily and quickly.

In this research, the effectiveness of jagan plant in removing water salinity in surface flow artificial wetland was investigated.

2. Materials and Methods

In this research, nine numbers of systems were built and urban water flow was established continuously from December 2019 to June 2014. All systems were planted in the soil with different densities of 10, 20, 30 and

40 cm. The selected hydraulic retention time was 5 days, and for each retention time, this experiment was repeated in three stages, for six months. The concentration of calcium, magnesium, potassium, chlorine, carbonate, bicarbonate and EC input to the systems and their output were measured and the concentration changes were compared using SAS statistical software.

3. Results

The comparison results of the average density of plant cultivation, changes in temperature, month, and their interaction in the efficiency of removing salinity parameters were observed to be significant at the 95% confidence level. Comparing the average effect of temperature on salinity removal showed a significant difference between the efficiency of salinity removal in some months of the year.

4. Discussion and Conclusion

The interaction effect showed that the highest salinity removal efficiency equal to 17.75% was obtained in the retention time of five days in the soil cultivation system and in July.

According to the results, it can be said that the highest average for the EC parameter occurred in December at a density of 40 cm and the lowest average value for a density of 20 cm occurred in April.

5. Six important references

- 1) Billy A, Makumba A and Ernest R. Plant Growth Promoting Rhizobacterial Biofertilizers for Sustainable Crop Production: The Past, Present, and Future Becky N, 2020.
- 2) Hatamjafari F, Tazarv M. Study of antioxidant activity of *Spinacia oleracea* L. Journal of Chemistry, An International Open Free Access, Peer Reviewed Research Journal, 2013, 29(2): 451-455.
- 3) Mohammad Mirzaee M, ZakeriNia M, and Farasati M. The effects of phytoremediation of treated urban wastewater on the discharge of surface 2 and subsurface drippers (Case study: Gorgan wastewater treatment plant in northern 3 Iran, Cleaner Engineering and Technology, 2021,4, 100210
- 4) Mohammad Mirzaee M, ZakeriNia M, and Farasati M. Performance evaluation of Vetiver and Pampas plants in reducing the hazardous ions of treated municipal wastewater, Water Practice & Technology Journal, (2022) 17 (5): 1002–1018.
- 5)Nazarpoor R, Farasati M, Fathaabadi H, Gholizadeh M. Nitrate removal from water by using *Cyperus alternifolius* plants in surface flow constructed wetlands, Desalination and Water Treatment, 2021, 1–9.
- 6)Roongtankiat N, Tongruangkiat S, Meesart R. Utilization of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for removal of heavy metals from industrial wastewaters. Science Asia; 2007(3):397-403.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



بررسی کارایی گیاه پالایی در حذف شوری آب در تالاب مصنوعی جریان سطحی

محسن جهانی زاده^۱، معصومه فراستی*^۲، علی ستاریان^۳، حبیب خداوردیلو^۴

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

مقاله پژوهشی

چکیده

در این پژوهش به بررسی کارایی گیاه جگن در حذف شوری آب در تالاب مصنوعی جریان سطحی پرداخته شد. برای رسیدن به این هدف، نه عدد کانال ساخته شد و جریان آب چاه از آذر ۱۳۹۹ تا خرداد ۱۴۰۰ به صورت پیوسته در کانال ها برقرار شد. همه کانال ها به صورت کشت در خاک و با تراکم های مختلف ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ سانتی متر کاشته شد. زمان ماند هیدرولیکی انتخاب شده ۵ روز بود و برای زمان ماند پنج روز این آزمایش در سه مرحله، به مدت شش ماه تکرار شد. غلظت کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، کربنات، بیکربنات و EC ورودی به کانال ها و خروجی از آنها اندازه گیری و تغییرات غلظت با استفاده از نرم افزار آماری SAS مقایسه شد. نتایج مقایسه میانگین تراکم کشت گیاه، تغییرات دما، ماه و اثر متقابل آنها در کارایی حذف پارامتر شوری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر دما بر حذف شوری نشان دهنده تفاوت معنی داری بین بازدهی حذف شوری در بعضی از ماه های سال بود. اثر متقابل نشان داد که بیشترین بازدهی حذف شوری برابر ۱۷/۷۵ درصد در زمان ماند پنج روز در سامانه کشت در خاک و در تیرماه به دست آمد. بزرگترین میانگین برای پارامتر EC در ماه آذر و در تراکم ۴۰ سانتی متر اتفاق افتاده است و کمترین مقدار میانگین برای تراکم ۲۰ سانتی متر در فروردین اتفاق افتاده است.

واژه های کلیدی: تالاب مصنوعی، شوری، تراکم کشت، زمان ماند، جگن، گیاه پالایی

۱ کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس ایران پست الکترونیکی: jahanee@gmail.com

۲ دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس ایران پست الکترونیکی: farasati2760@gmail.com (نویسنده مسئول)

۳ دانشیار گروه زیست شناسی، دانشکده علوم پایه و فنی مهندسی، دانشگاه گنبد کاووس ایران پست الکترونیکی: sattarian.ali@gmail.com

۴ گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه ایران، پست الکترونیکی: khodaverdiloo@yahoo.com

مقدمه

با توجه به تلاش محققین برای ارائه راه‌حل‌هایی ارزانتر و سازگارتر با محیط زیست برای حذف آلاینده‌ها، ساختارهای تالابی یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای این منظور است. تالاب‌ها با روش‌های مختلف فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی می‌توانند به شکل موثری غلظت انواع آلاینده‌های شیمیایی و باکتری‌های بیماری‌زا را کاهش دهند (Bunea, 2008).

تالاب‌های مصنوعی جایگزینی امیدوار کننده برای تصفیه فاضلاب هستند. در کشورهای در حال توسعه، و به خصوص در چین، هزاران نفر از تالاب به عنوان تاسیسات تصفیه خانه فاضلاب استفاده می‌کنند. تالاب‌های سطحی ساخته‌شده با بسترهای شن و ماسه، منشاء آنها در اروپا است و اکنون در سراسر جهان استفاده می‌شوند. تالاب‌های زیرسطحی ساخته‌شده با بستر شنی عمدتاً در شمال آفریقا، آفریقای جنوبی، آسیا، استرالیا و نیوزیلند یافت می‌شوند.

یکی از روش‌های بیولوژیکی به‌منظور تصفیه آب و فاضلاب در تالاب‌ها، استفاده از پتانسیل‌های فیزیولوژیکی گیاهان است (Keshtkar, 2016) یکی از ارکان مهم در زمینه گیاه‌پالایی، فراهم آوردن شرایط محیطی و بستری مناسب برای کشت و پرورش گیاه است (Hajjilu, 2011).

فرآیند گیاه‌پالایی یک فناوری نسبتاً نوین جهت پالایش آب و خاک آلوده بوده و فاقد هرگونه اثرات تخریبی برای محیط‌زیست بوده و روشی پایدار، کم هزینه، آسان و دوستدار محیط‌زیست می‌باشد. مهم‌ترین فاکتور در اجرای گیاه‌پالایی، انتخاب گونه گیاهی مناسب است که باید قابلیت بالای جذب آلاینده‌های آلی و معدنی، سازگاری و رشد مناسب در محیط‌های آلوده (آب و خاک) و تکثیر آسان و سریع داشته باشد (Billy, 2008).

استفاده از گونه‌های آبی برای تصفیه فاضلاب‌های مختلف تحت شرایط گوناگون در تعداد زیادی از کشورها از جمله مصر، تایلند، ایران و ژاپن انجام شده است. این گیاهان آبی در مراحل اولیه و ثانویه تصفیه فاضلاب‌های خانگی و صنعتی قابل استفاده است. گیاهان تالابی به

دلیل مجهز بودن به سیستم بافت گیاهی، توانایی ذخیره مواد غذایی را دارند و حذف قسمت هوایی آنها یک بار در سال، کارایی حذف مواد غذایی را افزایش می‌دهد. ریشه گیاهان موجود در تالاب نقش یک فیلتر بیولوژیکی را برای حذف انواع مواد آلی ایفا می‌کند. جگن نام یک سرده از تیره جگنیان است و به نام زنبق زرد نیز شناخته می‌شود. گیاهی است علفی و پایا که در مرداب‌ها و نواحی باتلاقی منطقه‌های معتدل و گرم سراسر جهان می‌روید. تاکنون در حدود ۴۵ گونه از این گیاه در ایران شناسایی شده است (صمیمی لقمانی و همکاران، ۱۳۹۲).

نصرالهی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی کارایی کاهش سختی آب (کلسیم و منیزیم) با استفاده از رزین های کاتیونی قوی پرداختند. با توجه به نتایج، رزین با ۳۶ و ۱۶ میلی گرم بر لیتر کلسیم و منیزیم در آب و بیشترین تاثیر در کاهش سختی برای استفاده در سیستم تصفیه آب شهرستان جویبار توصیه می‌شود.

یونسی و همکاران (۲۰۱۹) پژوهشی در رابطه با تاثیر گیاه پالایی بر شوری آب انجام دادند. در از این تحقیق، پرورش دو گونه آبی (بامبو و نی) در محیط آزمایشگاهی برای بررسی توانایی آنها در حذف نمک و کلر از آب خام بود. برای این منظور یکبار NaCl با غلظت ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و پتاسیم با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و یکبار NaCl با غلظت ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و پتاسیم با غلظت ۵۰۰ میلی‌گرم بر لیتر درون آب خام ریخته و میزان جذب عناصر با برگ گیاه بامبو و نی و میزان باقی‌مانده عناصر در آب خام در روز ۱ و ۱۴ سنجیده شد. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بیشتر گیاه بامبو برای حذف عناصر در آب خام بود. طوری که در بالاترین غلظت، حذف سدیم، پتاسیم و کلر به ترتیب ۲۸/۴۶٪، ۶۲/۳۲٪، ۷۳/۲۴٪ و ۹۸/۲۷٪ بود.

Roongtankiat (2007) نقش دو گیاه نمک دوست را در حذف نیترژن و گوگرد در سیستم هیدروپونیک بررسی کردند. این گیاهان به صورت ریشه‌های شناور در سیستم هیدروپونیک کشت داده شدند. آنها دریافتند گیاه وتیورگراس توانایی جذب ۷۷ درصد آمونیوم را دارد.



مواد و روشها

مکان و زمان انجام پژوهش

در این تحقیق گیاه جگن در مزرعه دانشگاه گنبد کاووس در سال ۱۴۰۰-۱۳۹۹ کشت شد. محل انجام پژوهش به دلیل دسترسی آسان به لوله‌های انتقال آب شهری و استفاده از فضای کافی جهت استقرار سامانه‌ها و مخزن ذخیره آب از دلایل انتخاب این مکان جهت ساخت سامانه تالاب مصنوعی بود. نه سیستم تالاب با مشخصات یکسان با ابعاد ۲۰۰ سانتی‌متر طول، ۳۰ سانتی‌متر عرض و با عمق ۲۵ سانتی‌متر با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر از کف سامانه‌ها بر روی زمین با استفاده از ورق گالوانیزه ساخته شد. برای ایزوله نمودن کانال‌ها، از چسب آکواریوم استفاده شد. یک سامانه شاهد و هشت سامانه کشت در خاک در نظر گرفته شد. جنس بستر سامانه که بستر خاکی داشتند از نوع خاک زراعی (لوم سیلتی) و عمق خاک ۱۵ سانتی‌متر بود. شکل ۱- پلان سامانه‌های تالاب مصنوعی را نشان می‌دهد. جریان ورودی آب خام شهری و جریان خروجی آب تصفیه شده پس از گیاه پالایی را نشان می‌دهد.

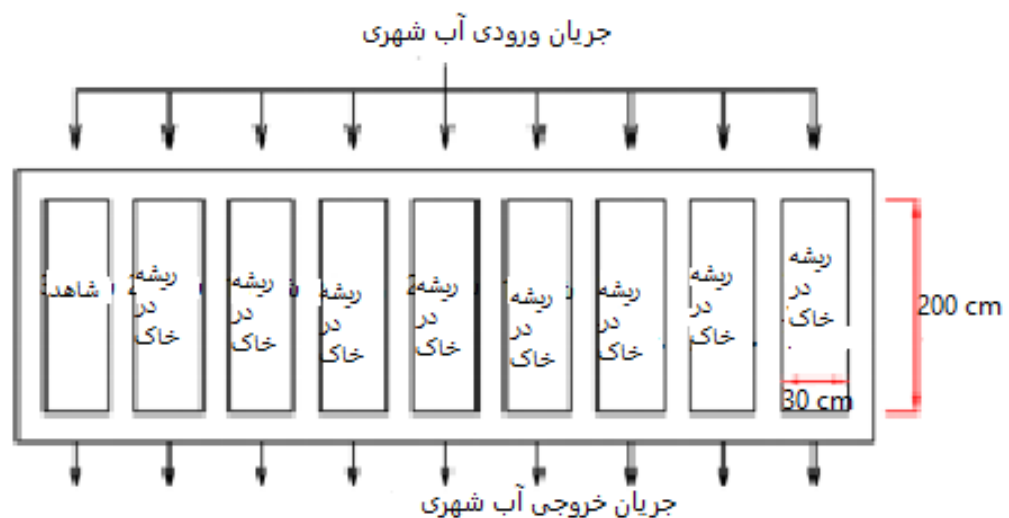
Hatamjafari et al. (2013) در پژوهشی تاثیر گیاه پالایی بر شوری آب مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل حاکی از قابلیت بیشتر گیاه بامبو برای حذف عناصر در آب خام بود. طوری که در بالاترین غلظت، حذف سدیم، پتاسیم و کلر به ترتیب $62/32\%$ ، $73/24\%$ و $98/27\%$ بود.

میرزائی و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی به بررسی تاثیر وتیور و پامپاس گراس در حذف آلاینده های مضر فاضلاب پرداختند. با توجه به نتایج به دست آمده، پامپاس گراس دارای قابلیت بیشتری در حذف آلاینده‌ها از فاضلاب شهری بود.

میرزائی و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی اثر آب تصفیه شده به روش گیاه پالایی بر دبی قطره چکان های سطحی و زیرسطحی پرداختند. نتایج نشان داد که در صورت تصفیه آب با استفاده از گیاه پامپاس گراس، آبیاری قطره ای مورد استفاده برای آبیاری دارای دبی بیشتری بود.

نظرپور و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی حذف نیترات با استفاده از گیاه نخل مرداب در تالاب جریان سطحی پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین میزان حذف نیترات ۱۷/۷۵ درصد در زمان ماند پنج روز در کانال کشت در خاک به دست آمد.

با توجه به مطالب ذکر شده، در این پژوهش به بررسی کارایی گیاه جگن در حذف شوری آب در تالاب مصنوعی جریان سطحی که تا به حال انجام نشده، پرداخته شد.



شکل (۱): پلان سامانه‌های تالاب مصنوعی استفاده شده در تحقیق

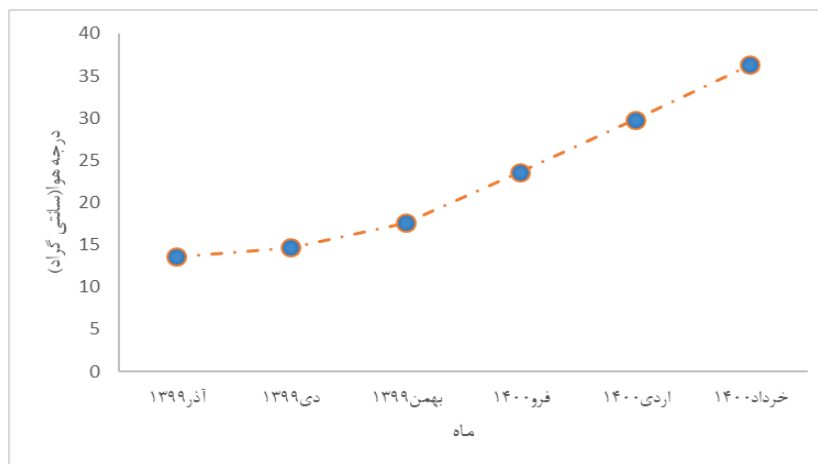
استفاده از pH متر اندازه گیری گردید. سپس با استفاده از نرم افزار آماری SAS داده ها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج

به منظور بررسی تاثیر دما بر کارایی حذف شوری از آب در سامانه تالابی از مقادیر روزانه دمای هوای محیط استفاده شد. همانطور که شکل (۲) نشان می‌دهد، متوسط درجه حرارت محیط طی دوره آزمایش از ۱۳/۶ درجه در ماه آذر تا ۳۶/۳ درجه سانتی گراد در خردادماه نوسان داشت. در نتیجه روند تغییرات دمای هوا از شروع (آذرماه) تا پایان (خرداد ماه) به نحوی بود که با تکرار آزمایش در ماه‌های متوالی امکان بررسی تاثیر افزایش دما بر بازده حذف شوری وجود داشت.

برای مقایسه حذف شوری توسط گیاه جگن، زمان ماند هفت روزه مد نظر قرار گرفت. جهت تخلیه آب در ارتفاع ۲۰ سانتی متری از کف سامانه تا نقطه خروجی آب برای هر سامانه، یک شیر برای خروج آب و برداشت نمونه از جریان خروجی جهت اندازه گیری در زمان ماند مورد نظر تعبیه گردید.

در ابتدای زمان ماند از آب چاه برداشت نمونه انجام گردید. ظروف حاوی نمونه، در اسرع وقت با استفاده از تشت حاوی یخ، به آزمایشگاه انتقال یافت. در هر مرحله پارامترهای کنترلی و اصلی در سیستم اندازه گیری شدند. به منظور اندازه گیری هدایت الکتریکی از EC متر، دستگاه فلیم فوتومتر برای اندازه گیری سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، کلر با استفاده از تیتراسیون، pH



شکل (۲): تغییرات متوسط دمای محیط از شروع تا پایان آزمایش

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

در جدول (۱)، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول (۱): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

شوری (mmho/cm)	اسیدیته	نیترژن (%)	فسفر (mg/L)	پتاسیم (mg/L)	چگالی ظاهری (g/cm ³)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	رطوبت وزنی (%)
۰/۳۳	۷/۱	۰/۰۸	۱۱/۲۰	۳۶۸	۱/۳	۲۱	۶۴	۱۵	۰/۱۶

تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر درصد حذف شوری آب جدول ۲ تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر حذف پارامترهای شوری آب شهری مورد تحقیق را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثرات عامل‌های دما - نهفته در ماه دوره آزمایش (عامل فرعی)، زمان ماند (عامل اصلی) و اثر متقابل آن‌ها بر درصد حذف در سطح ۹۹ درصد معنی دار شد.

با توجه به جدول (۱)، خاک مورد استفاده در انجام آزمایش‌های جذب کمترین شوری را داشته و جز خاک‌های شور نمی‌باشد. همچنین اسیدیته آن تقریباً خنثی می‌باشد. مقدار قابل توجهی پتاسیم به میزان ۳۶۸ میلی‌گرم در لیتر دارد. میزان سیلت مورد مطالعه در خاک به نسبت رس و شن بیشتر می‌باشد.

جدول (۲): تجزیه واریانس اثر را بر حذف پارامترهای شوری آب شهری

Ec	Cl	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	
0.01**	434.03ns	2062.75ns	319ns	3185.51**	4.33**	0.01ns	35.04*	تکرار
14.18**	290691.81**	7242275.63**	348139.53ns	756270.63**	44.79**	522.3673	41479.72**	زمان
0ns	254.13ns	73.01ns	0.34ns	150.51ns	0.31**	0.36ns	8.41**	خطای ۱
2.69**	1325.78*	458.58ns	189869.53**	69141.86**	11.81*	0.52**	7982.58**	تراکم کشت
2.55**	5436.05**	106715.63**	83.18**	2292.41**	1.53**	9.76**	493.1**	زمان*مکان
0	418.34	5809.00	1.79	70.2	0.12	0.26	1.78	خطای ۲

جدول (۳): تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر حذف پارامترهای شوری آب شهری

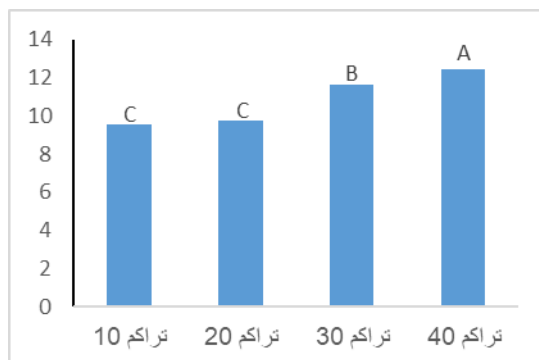
HCO ₃	CO ₃	K	Na	Mg	Ca	Cl	Ec	DF	
								-	تکرار
14.1	290691.8	7242276	348139.5	756270.6	44.7	41479.7	522.37	۵	ماه
2.6	1325.7	5503.1	189869.5	69141.8	11.8	7982.5	36.6	۳	تراکم کشت
2.5	5436	106715.6	4409.5	2292.4	1.5	493.1	9.7	۱۵	تراکم کشت*ماه
0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001		خطا

اردیبهشت و خردادماه) معنادار است. گفتنی است مقایسه میانگین تأثیر دما بر حذف شوری نشان داد با افزایش دمای محیط، غلظت کربنات در سامانه‌ها کاهش یافته است. اما شیب کاهش کربنات کمتر از شیب افزایش دمای محیط است. همچنین، کمترین غلظت کربنات در خردادماه ۲ میلی‌گرم بر لیتر

مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) بر درصد حذف شوری

شکل ۳ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر درصد کربنات نشان می‌دهد. همانطور که شکل ۳ نشان می‌دهد، غلظت کربنات برای بعضی دوره های آزمایش (به طور مثال بین بهمن ماه، فروردین،

تراکم کشت، غلظت کربنات بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف کربنات می باشد. در تراکم ده سانتیمتر کربنات دارای غلظت $9/8$ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت را داشته است. در تراکم های ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر، تفاوت معنی داری بین غلظت کربنات مشاهده نشد.



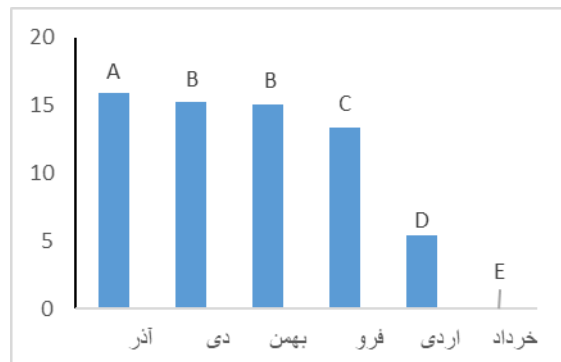
شکل (۳): مقایسه میانگین اثر الف) دوره آزمایش (ماه) ب) تراکم بر کاهش غلظت کربنات (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)

میلی گرم برلیتر کمترین غلظت را داشته است. در تراکم های ۱۰ و ۲۰ سانتیمتر، تفاوت معنی داری بین غلظت کربنات مشاهده نشد.

شکل ۴ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر درصد بیکربنات نشان می دهد. همانطور که شکل ۴ (الف) نشان می دهد، غلظت بیکربنات برای همه دوره های آزمایش معنادار است. با افزایش دمای محیط، غلظت بیکربنات در سامانه ها کاهش یافته است. به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت بیکربنات (300 میلی گرم برلیتر) و در خردادماه (170 میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت بیکربنات به دست آمد. در تراکم ۱۰ سانتیمتر بیکربنات دارای غلظت 220 میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (270 میلی گرم برلیتر) را داشته است. در تراکم های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت بیکربنات مشاهده شد.

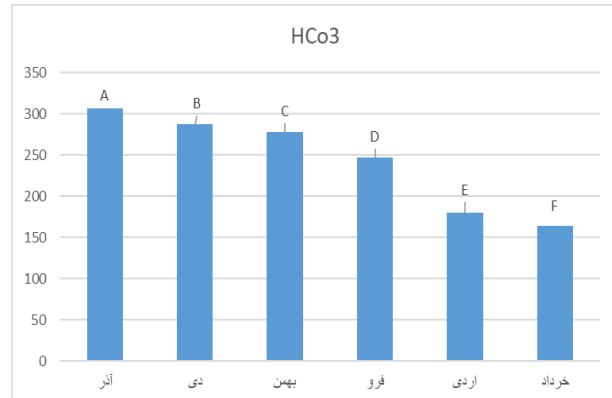
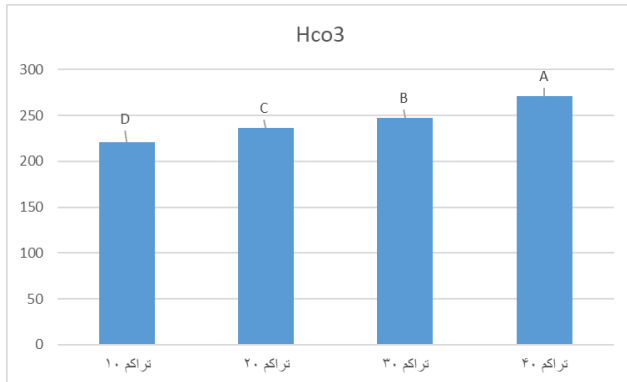
با توجه به شکل ۴ (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت کربنات بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف کربنات می باشد.

به دست آمد. مشابه این تحقیق، مطابق با اظهارات سایر محققان (Younesi, 2018; Beaton, 2004) به علت کاهش دسترسی به اکسیژن کافی، در ماه های با درجه حرارت پایین تر، روند حذف آلاینده با کاهش مواجه خواهد بود. در نتیجه، به علت افزایش فعالیت میکروبی، دستیابی به بیشترین و موفق ترین عمل تصفیه در هوای گرم صورت خواهد پذیرفت. با توجه به شکل ۳، با افزایش



شکل ۳ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر درصد کربنات نشان می دهد. همانطور که شکل ۳ نشان می دهد، غلظت کربنات برای بعضی دوره های آزمایش (به طور مثال بین بهمن ماه، فروردین، اردیبهشت و خردادماه) معنادار است. گفتنی است مقایسه میانگین تأثیر دما بر حذف شوری نشان داد با افزایش دمای محیط، غلظت کربنات در سامانه ها کاهش یافته است. همچنین، کمترین غلظت کربنات در خردادماه ۲ میلی گرم بر لیتر به دست آمد. مشابه این تحقیق، مطابق با اظهارات (Younesi, 2018) Beaton (2004) و به علت کاهش دسترسی به اکسیژن کافی، در ماه های با درجه حرارت پایین تر، روند حذف آلاینده با کاهش مواجه خواهد بود. در نتیجه، به علت افزایش فعالیت میکروبی، دستیابی به بیشترین و موفق ترین عمل تصفیه در هوای گرم صورت خواهد پذیرفت.

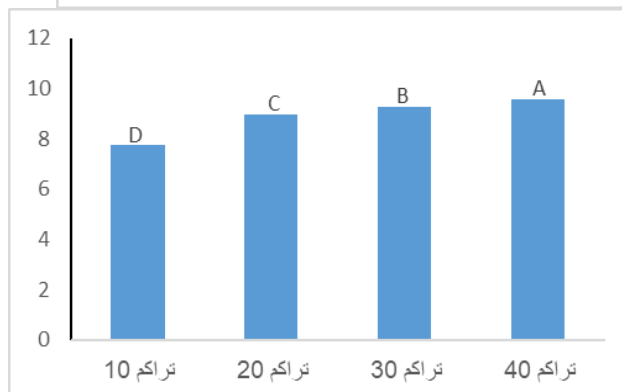
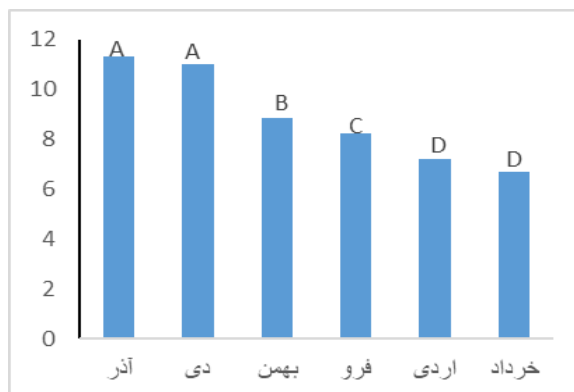
با توجه به شکل ۳، با افزایش تراکم کشت، غلظت کربنات بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف کربنات می باشد. در تراکم ده سانتیمتر کربنات دارای غلظت $9/8$



شکل (۴): مقایسه میانگین اثر الف (دوره ماه) (ب) تراکم کاشت بر کاهش غلظت بی کربنات (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)

با توجه به شکل ۵ (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت پتاسیم بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف آن می باشد. در تراکم ده سانتیمتر پتاسیم دارای غلظت ۷/۹ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (۹/۹ میلی گرم برلیتر) را داشته است. در تراکم های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت پتاسیم مشاهده شد.

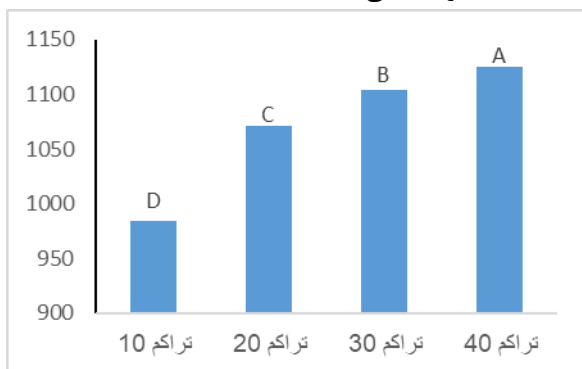
شکل ۵ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم کاشت را بر غلظت پتاسیم نشان می دهد. همانطور که شکل ۵ (الف) نشان می دهد، غلظت پتاسیم بین ماه های آذر، دی، اردیبهشت و خردادماه معنادار نشده است. با افزایش دمای محیط، غلظت پتاسیم در سامانه ها کاهش یافته است. به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت پتاسیم (۱۱/۵ میلی گرم برلیتر) و در خردادماه (۶/۸ میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت بیکربنات به دست آمد. اما شیب کاهش پتاسیم کمتر از شیب افزایش دمای محیط است.



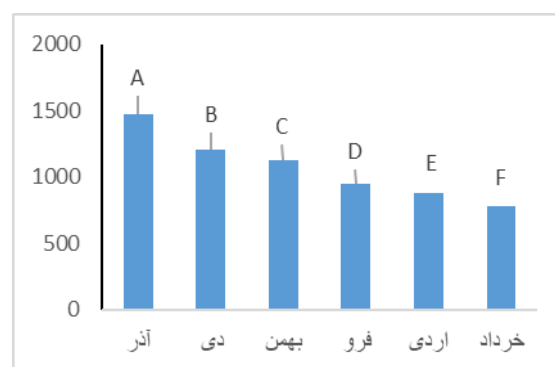
شکل (۵): مقایسه میانگین اثر دوره (ماه) بر کاهش غلظت پتاسیم (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)

سانتیمتر بیکربنات دارای غلظت ۹۸۰ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (۱۱۲۰ میلی گرم برلیتر) را داشته است. در تراکم‌های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت پتاسیم مشاهده شد.

با توجه به شکل ۶ (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت کربنات بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف کربنات می باشد.



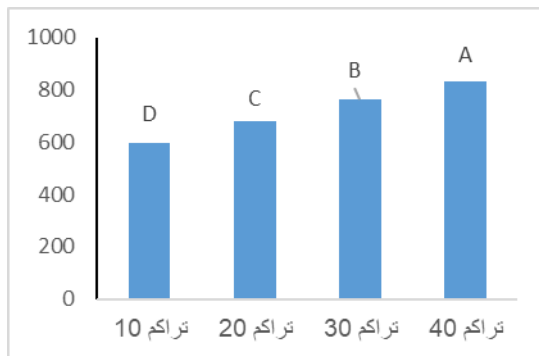
شکل ۶ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر تغییرات غلظت سدیم نشان می دهد. همانطور که شکل ۶ (الف) نشان می دهد، تغییرات غلظت پتاسیم برای همه دوره های آزمایش معنادار است. با افزایش دمای محیط، غلظت بیکربنات در سامانه ها کاهش یافته است. به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت بیکربنات (۱۴۵۰ میلی گرم برلیتر) و در خردادماه (۷۹۰ میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت بیکربنات به دست آمد. در تراکم ده



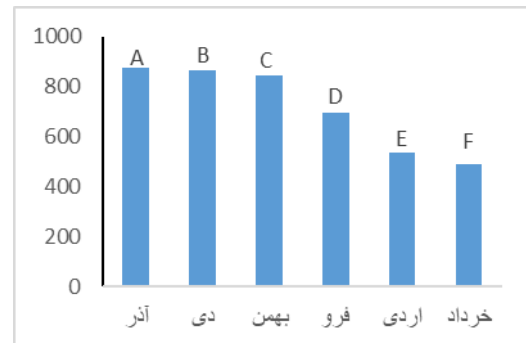
شکل (۶): مقایسه میانگین اثر الف دوره (ماه)، (ب) تراکم کاشت بر کاهش غلظت سدیم (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)



با توجه به شکل ۷ (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت منیزیم بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف منیزیم می باشد. در تراکم ده سانتیمتر منیزیم دارای غلظت ۶۰۰ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (۸۲۰ میلی گرم برلیتر) را داشته است. در تراکم‌های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت پتاسیم مشاهده شد.



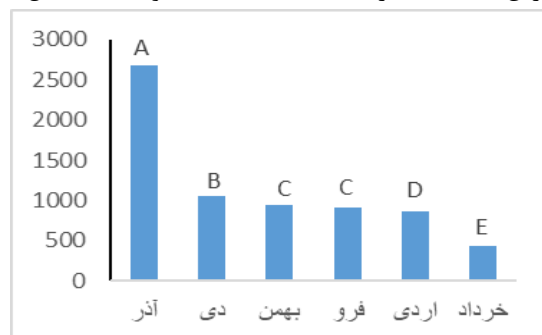
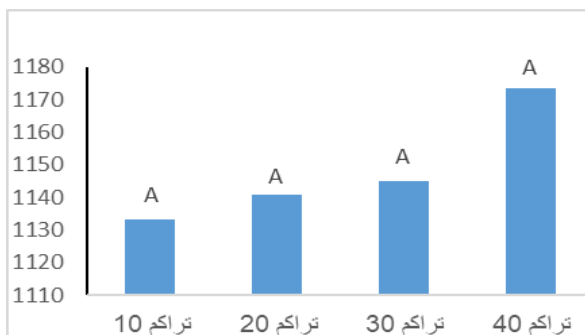
شکل ۷ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر تغییرات غلظت منیزیم نشان می‌دهد. همانطور که شکل ۷ (الف) نشان می‌دهد، تغییرات غلظت منیزیم برای همه دوره های آزمایش معنادار است. با افزایش دمای محیط، غلظت منیزیم در سامانه‌ها کاهش یافته است. به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت منیزیم (۸۸۰ میلی گرم برلیتر) و در خردادماه (۴۹۰ میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت بیکربنات به دست آمد.



شکل (۷): مقایسه میانگین اثر (الف) دوره (ماه)، (ب) تراکم کاشت بر کاهش غلظت منیزیم (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)

۸) (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت کلسیم بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف کلسیم می باشد. در تراکم ده سانتیمتر کلسیم دارای غلظت ۱۱۳۲ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (۱۱۷۳ میلی گرم برلیتر) را داشته است. در تراکم‌های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت کلسیم مشاهده شد.

شکل ۸ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر تغییرات غلظت کلسیم نشان می‌دهد. همانطور که شکل ۱۳ نشان می‌دهد، تغییرات غلظت منیزیم برای همه دوره های آزمایش معنادار است. با افزایش دمای محیط، غلظت منیزیم در سامانه‌ها کاهش یافته است. به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت منیزیم (۲۷۰۰ میلی گرم برلیتر) و در خردادماه (۴۰۰ میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت بیکربنات به دست آمد. با توجه به شکل



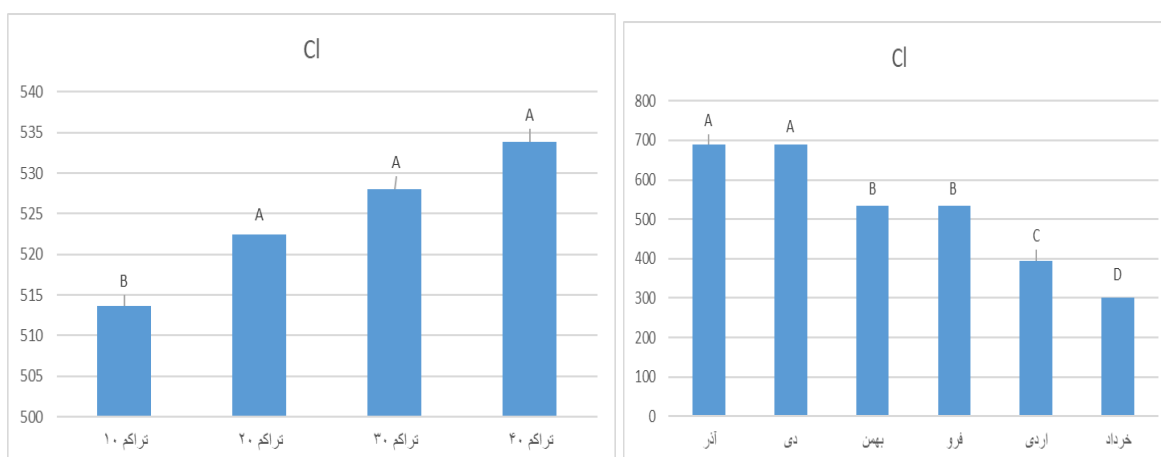
شکل (۸): مقایسه میانگین اثر (الف) دوره (ماه)، (ب) تراکم کاشت بر کاهش غلظت کلسیم (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)

شکل ۹ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر تغییرات غلظت کلر نشان می‌دهد. به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت کلر (۶۹۰ میلی گرم برلیتر)

و در خردادماه (۳۰۰ میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت کلر به دست آمد.

در تراکم ده سانتیمتر کلر دارای غلظت ۵۱۲ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (۵۳۴ میلی گرم برلیتر) را داشته‌است. در تراکم‌های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت کلر مشاهده شد.

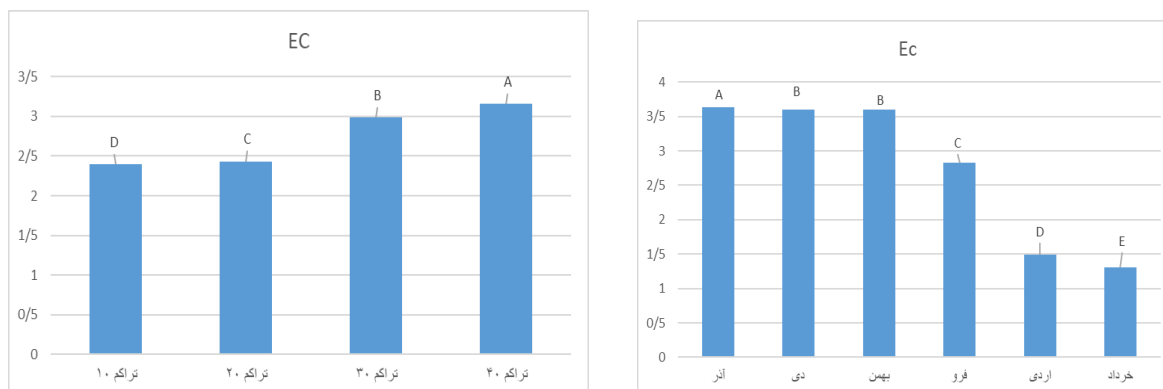
همانطور که شکل ۹ (الف) نشان می‌دهد، تغییرات غلظت کلر برای همه دوره های آزمایش معنادار است. با افزایش دمای محیط، غلظت کلر در سامانه‌ها کاهش یافته است. با توجه به شکل ۹ (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت کلر بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف کلر می باشد



شکل (۹): مقایسه میانگین اثر الف) دوره (ماه)، ب) تراکم کاشت بر کاهش غلظت کلر (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)

شکل ۱۰ مقایسه میانگین اثر دوره آزمایش (ماه) و تراکم را بر تغییرات غلظت EC نشان می‌دهد. همانطور که شکل ۱۰ (الف) نشان می‌دهد، تغییرات غلظت EC برای همه دوره های آزمایش معنادار است. با افزایش دمای محیط، غلظت EC در سامانه‌ها کاهش یافته است. با توجه به شکل ۱۰ (ب)، با افزایش تراکم کشت، غلظت شوری بیشتر شده که نشان دهنده کاهش بازدهی حذف EC می باشد.

به طوری که در آذرماه بیشترین غلظت EC (۳/۶ میلی گرم برلیتر) و در خردادماه (۱/۲ میلی گرم برلیتر) کمترین غلظت EC به دست آمد. در تراکم ده سانتیمتر EC دارای غلظت ۲/۴ میلی گرم برلیتر کمترین غلظت و در تراکم ۴۰ سانتیمتر بیشترین غلظت (۳/۲ میلی گرم برلیتر) را داشته‌است. در تراکم‌های مختلف کاشت، تفاوت معنی داری بین غلظت EC مشاهده شد.



شکل (۱۰): مقایسه میانگین اثر تراکم بر کاهش غلظت EC (حروف متفاوت دارای اختلاف معنادار)



شوری نشان دهنده تفاوت معنی داری بین بازدهی حذف شوری در بعضی از ماه‌های سال بود. با توجه به نتایج می توان گفت بزرگترین میانگین برای پارامتر EC در ماه آذر و در تراکم ۴۰ سانتی متر اتفاق افتاده است و کمترین مقدار میانگین برای تراکم ۲۰ سانتی متر در فروردین اتفاق افتاده است. برای پارامتر CL بزرگترین مقدار میانگین در فروردین با تراکم ۲۰ سانتی متر و کمترین مقدار میانگین نیز دی ماه با تراکم ۴۰ اتفاق افتاده است. بزرگترین مقدار میانگین برای پارامتر Ca در خرداد به ازای تراکم ۴۰ رخ داده و کمترین آن نیز در فروردین با تراکم ۴۰ رخ داده است. برای پارامتر Mg بزرگترین مقدار میانگین بهمن ماه با تراکم ۴۰ رخ داده است و کمترین مقدار آن نیز خرداد با تراکم ۱۰ رخ داده است. برای پارامتر Na نیز بیشترین مقدار میانگین در آذر ماه در تراکم ۴۰ سانتی متر و کوچکترین مقدار آن نیز خرداد با تراکم ۱۰ رخ داده است. برای پارامتر K نیز بزرگترین مقدار میانگین بهمن ماه با تراکم ۴۰ بوده است و کمترین مقدار آن خرداد با تراکم ۲۰ بوده است. برای پارامتر CO₃ بزرگترین مقدار میانگین در دی ماه با تراکم ۴۰ رخ داده است و کمترین مقدار آن نیز در خرداد رخ داده است و برای پارامتر آخر یعنی HCO₃ بزرگترین مقدار میانگین دی ماه با تراکم ۴۰ و کمترین آن نیز در خرداد با تراکم ۱۰ بوده است. با توجه به نتایج به دست آمده، با افزایش تراکم غلظت یون های شوری افزایش می یابد.

در تحقیقی گزارش نمودند نرخ حذف نیتروژن در فصول سرد خیلی کمتر از دیگر فصول نیست و تفاوت این مقدار در مقایسه بین ماه های سرد و گرم، کم تر از ۱۰ درصد می باشد (Ishiwata, 2002). مطالعات Yunesi et al. (2016) و Maynard et al. (2006) نشان داد درجه حرارت به واسطه تاثیر بر میزان فرایندهای فیزیولوژیکی و رشد و نمو گیاهان باعث افزایش بازده جذب مواد غذایی می شود. همچنین فرایندهای تصفیه بیولوژیکی به درجه حرارت وابسته است و مشابه تکثیر و توزیع ارگانسیم های آبی با اثرگذاری بر میزان فعل و انفعالات شیمیایی و سوخت و ساز ارگانسیم ها، نقش مهمی در انتقال اکسیژن محیط به تالاب، ازدیاد اکسیژن محلول در آب و در نهایت اکسیداسیون مواد آلی ایفا می کند.

نتیجه گیری

در این پژوهش غلظت کلسیم، منیزیم، پتاسیم، کلر، کربنات، بیکربنات و EC ورودی به سامانه ها و خروجی از آنها اندازه گیری و تغییرات غلظت با استفاده از نرم افزار آماری SAS، مقایسه شد. نتایج مقایسه میانگین تراکم کشت گیاه، تغییرات دما و اثر متقابل آنها در کارایی حذف پارامترهای شوری در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار مشاهده شد. مقایسه میانگین اثر دما بر حذف

منابع

Bunea A, Andjelkovic M, Socaciu C, Bobis O, Neacsu M, Verhe Roland, Vancamp J. Total and individual carotenoids and phenolic acids content in fresh, refrigerated and processed spinach, Food Chemistry, 18(2):649-656; 2008.

Keshtkar AR, A Ahmadi MR, Hamidifar H, Atashi H, Razavi M, Naseri HR, Yazdanpanah A, Azami N. Application of vetiver system in purifying and improving the quality of unconventional waters. Natural environment. Natural Environment resources of Iran 2016 (68) 4:629-640.

Hajjilu. The use of plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers for the sustainability of agricultural ecosystems. Iranian Fertilizer Challenges Congress: Half a Century of Fertilize Consumption; 2011.



Billy A. Makumba A and Ernest R. Plant Growth Promoting Rhizobacterial Biofertilizers for Sustainable Crop Production: The Past, Present, and Future Becky N, 2020.

Roongtankiat N, Tongruangkiat S, Meesart R. Utilization of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) for removal of heavy metals from industrial wastewaters. *Science Asia*; 2007(3):397-403.

Hatamjafari F, Tazarv M. Study of antioxidant activity of *Spinacia oleracea* L. *Journal of Chemistry, An International Open Free Access, Peer Reviewed Research Journal*, 2013, 29(2): 451-455.

Mohammad Mirzaee M, ZakeriNia M, and Farasati M. Performance evaluation of Vetiver and Pampas plants in reducing the hazardous ions of treated municipal wastewater, *Water Practice & Technology Journal*, (2022) 17 (5): 1002–1018.

Mohammad Mirzaee M, ZakeriNia M, and Farasati M. The effects of phytoremediation of treated urban wastewater on the discharge of surface 2 and subsurface drippers (Case study: Gorgan wastewater treatment plant in northern 3 Iran, *Cleaner Engineering and Technology*, 2021,4, 100210.

Nazarpoor R, Farasati M, Fathaabadi H, Gholizadeh M. Nitrate removal from water by using *Cyperus alternifolius* plants in surface flow constructed wetlands, *Desalination and Water Treatment*, 2021, 1–9.

Yunsi, Z. Investigating the effectiveness of the plant treatment method in simultaneously reducing salt and nitrate from raw water. *Hydrophysics*; 2018.

Beaton J, Tisdale S, Nelson W, Havlin J. *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management*. Ed. Prentice Hall, New Jersey, USA, 2004.

Ishiwata H, Yamada T, Yoshiike N, Nishijima M, Kawamoto A, Uyama Y. Daily intake of food additives in Japan in five age groups estimated by the market basket method. *European Food Research and Technology*, 2002, 215(5):367-374.

Maynard DN, Barker PL, Peck M. Nitrate accumulation in vegetables. *Advances in Agronomy*. 28: 71-118; 1976.

Advances in Agronomy, 1976, 28:71-118.

Mengel. Fe availability in plant tissues-fe chlorosis on calcareous soils. *Iron Nutrition in Soils and Plants*; 1995, 389-397.

Nezarat. Role of doubled inoculation with *Azospirillum* and *Pseudomonas* bacteria in improving the uptake of nutrients in corn. *Agroecology*. 2010,1:25-32.

.Najafi N, Aliasgharzade N. Effects of Two Species of *Pseudomonas* and Nitrogen Levels on Dry Matter, Chlorophyll Index and N and Zn Uptake by Spinach Plant, 1931:6(1). *Soil Apply Researches*.



Samimi loghmani S, GHasemzadeh M, Abaspoor A, Semsar H. The role of aquatic plants in the removal of nitrogen and phosphorus from urban wastewater. Journal of water and soil protection research, 2013. 5(20): 99-114.