

Research Paper

Reducing Salinity and Heavy Metals in Brackish Water Using Halophyte Plants

Sobhan Pishanidar¹, Reza Jahanshahi^{2*}, Mohammad Reza Mirbalouchzahi³

¹M.Sc. Student of Hydrogeology, Geology Department, Faculty of Science, University of Sistan and Baluchestan, Iran. sobhan.pi94@gmail.com

² Associate Professor of Hydrogeology, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. rezajahanshahi@ut.ac.ir 0000-0003-2931-2377

³ Ph.D of Chemistry, Sistan and Baluchestan Water and Wastwater Co., Iran. daneshmir@yahoo.com



10.22125/iwe.2024.452750.1802

Received:
January 29, 2024
Accepted:
June 11, 2024
Available online:
October 13, 2024

Keywords:
Reducing salinity and heavy metals in brackish water using halophyte plants

Abstract

Due to the lack of fresh water in Iran and the existence of a large amount of saline water in the surface and groundwater, it is necessary to conduct research with natural methods without environmental pollution to reduce the salinity of water sources. Therefore, in this research, the reduction of salinity of a sample of brackish water from the groundwater water of Zahedan plain was evaluated using halophyte plants. In this regard, the physical model of hydroponic irrigation was used for water purification by halophyte plants (Aloe-vera and Pampas). The results showed that phytoremediation by Aloe-vera and Pampas plants reduced the salinity and some elements in the water. The comparison of the reduction of the average concentration of elements by one plant of both Aloe vera and Pampas plants showed that in a volume of 15 liters of brackish water (with an electrical conductivity of 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$), sulfur, sodium, and potassium elements were 26, 14 and 8.5 mg/liter respectively, had the highest amount of removal among the elements. While the highest "removal potential" of elements by this plant was related to cesium element by 54% and 85%, respectively.

1. Introduction

Phytoremediation is a new, cheap, sustainable and environmentally friendly technology that uses plants and related microorganisms to clean soil, water and atmosphere pollution. The application of this technology includes the use of vegetation in order to clean the soil and water through the absorption and removal of pollutants. For the first time in 1983, the use of plants to purify the environment was presented; But it has taken 30 years to reach its practical and usable concept today. According to the definition, halophytes are a group of plants that can complete their growth period in a concentration of about 200 mmol sodium chloride salt (TDS equivalent to 6.11 g/liter). In some sources, halophyte is defined as a plant that can complete its life cycle in environments with 5 grams per liter of total dissolved substances. Based on this, the total amount of soluble substances equal to 5 grams per liter has been determined as the upper limit of tolerance of glycophyte plants to the salinity of irrigation water. Therefore, due to the lack of fresh water in Iran and the existence of a large volume of ground and surface saline water, it is necessary and necessary to carry out research related to cost-effective natural solutions without environmental pollution to reduce the salinity of water sources. Therefore, in this

* **Corresponding Author:** Reza Jahanshahi

Address: School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

Email: rezajahanshahi@ut.ac.ir

Tel: +989131790969

research, the salinity reduction of a ground water sample from Zahedan plain has been evaluated using halophyte plants.

2. Materials and Methods

In order to conduct an experiment to investigate the ability of halophyte plants to absorb elements from water, two methods have been considered: a) plant cultivation in a pot with coarse sediment and b) hydroponic method. In this regard, in the first method, pots with a diameter of 25 cm and a height of 20 cm were filled with coarse sand particles of 5-8 mm and aeration to the plant roots was done with an air pump to prevent suffocation of the roots. While in the second method, rectangular cube containers made of polyethylene with a volume of 18 liters are considered. Then, light sheets with less density than water made of unolite were placed on the water inside the containers so that the plant floats and is stable on the water. In this case, the root of the plant is exposed to air with a short distance and prevents suffocation and shock caused by lack of air.

Cultivation of plants was done using the first method with three pots using brackish water with electrical conductivity of 5000 and 16000 micromohs/cm. Also, a pot containing water and without plants was considered as a control to investigate the effect of evaporation. This experiment was conducted for 26 days. Among the mentioned plants, except aloe vera and pampas (in the presence of water with an electrical conductivity of 5000 micromohs/cm), the other plants dried up during the experiment. Therefore, two types of halophyte plants, Aloe Vera and Pampas, were considered for irrigation by hydroponic method with electrical conductivity of 5000 micromohs/cm along with a container of brackish water and without plants (as a control to investigate the effect of evaporation).

Finally, the brackish water was transferred into the test containers and then the Unolite plates were placed on the container water so that the plants would float on it. In this pilot, plant samples were under hydroponic irrigation for thirteen and twenty-six days, and after this period, the electrical conductivity and pH of the container water samples were measured and water samples were taken from them for chemical analysis. The mentioned samples were analyzed by ICP-OES and ICP-MS devices.

3. Results

The amounts of different elements removed were considered in the first period. Pampas plant had the highest and lowest absorption for sulfur and arsenic, respectively, at the rate of 16640 and 0.2 micrograms per liter, and cobalt and nickel elements were not absorbed during this period. In addition, it can be seen that after sulfur, elements of sodium, magnesium, potassium, calcium, strontium and silica have been removed from water by the plant.

In the second period, the sulfur element shows the highest absorption compared to other elements, and the least removal can be seen in the arsenic element. Also, during this period, the plant has reduced the concentration of sodium, potassium, calcium, silicon, magnesium and strontium elements between 1 and 33 micrograms per liter.

The amount of elements removed from brackish water by aloe vera plant shows that sodium, calcium, magnesium and sulfur elements were removed the most (around 5000 to 6200 $\mu\text{g/L}$). Also, cesium element had the lowest absorption amount of 0.4 micrograms per liter, and nickel and scandium elements did not absorb. During 26 days of hydroponic irrigation of aloe vera plant with brackish water, the highest amount of absorption is related to sulfur element (19730 $\mu\text{g/liter}$). Next are sodium, potassium, calcium, silica and magnesium with a concentration of more than 1000 micrograms per liter. The pampas plant has absorbed the main elements, silica and sulfur elements, about 5 and 3 times more than the aloe vera plant, respectively, and has removed the potassium element from the water environment a little more than aloe vera. While the aloe vera plant has absorbed nearly 1.5 times more elements of calcium, magnesium and sodium than the pampas plant. During the experiment, water salinity has decreased and pampas plant has performed better than aloe vera. Considering that most of the elements in the water after irrigation have a lower concentration than before irrigation. The reason for the increase in electrical conductivity of water after irrigation was most likely due to the entry of organic acids from the growth metabolism of halophyte plants. The decrease in water pH also confirms it.

4. Discussion and Conclusion

Phytoremediation by Aloe Vera and Pampas plants have reduced salinity and some elements in the tested water. The maximum amount removed by one plant from both Aloe Vera and Pampas plants in the volume of about 15 liters of saline water for sulfur, sodium and potassium elements is 26, 14 and 8.5 mg/liter, respectively. In the first period, among the main elements, the pampas plant has absorbed silicon, sulfur and potassium elements more than the aloe vera plant. While the aloe vera plant has absorbed calcium, magnesium and sodium elements nearly 1.5 times more than the pampas plant. For secondary elements, it can be seen that the pampas plant removed strontium, aluminum, cadmium, selenium, molybdenum, barium and rubidium from the water environment more than the aloe vera plant. On the other hand, aloe vera plant only removed lithium and arsenic elements from water more than pampas. In the second period, due to the increase in the irrigation period, the amount of reduction in concentration by plants has increased by 2 to 4 times. However, the reason for the increase in electrical conductivity of water after irrigation is most likely due to the entry of organic acids from the growth metabolism of halophyte plants. The highest potential of element removal by aloe vera plant is related to cesium element by 54%. Elements of nickel, iron, vanadium, copper, chromium, zinc and lead are in the next ranks with more than 30% removal potential. For pampas plant, the highest potential of removing elements related to cesium is 85%. Nickel, iron, vanadium and copper elements are in the next categories with more than 50% removal potential, and elements such as chromium, zinc, lead, arsenic, molybdenum and lithium have shown a weaker removal potential with 30%.

5. Six important references

- 1)Barrett-Lennard, E.G., Bathgate, A.D. and Malcolm, C.V. 2003. Saltland pastures in Australia, a practical guide. Department of Agriculture and Food, Western Australia. Perth Bulletin, 4312.
- 2)Farzi, A., Borghei, S.M. and Vossoughi, M. 2017. The use of halophytic plants for salt phytoremediation in constructed wetlands. International journal of phytoremediation, 19(7), pp.643-650.
- 3)Kalantari, E., Hassanli, A., Ghanbarian, G. A., Ghaemi, A. A. and Mousavi, S. R. 2018. Local desalination treatment plant wastewater reuse and evaluation potential absorption of salts by the halophyte plants. Eurasian Journal of Soil Science, 7(1): 43-50.
- 4)Li, P., Wang, C., Liu, G., Luo, X., Rauan, A., Zhang, C., Li, T., Yu, H., Dong, S. and Gao, Q. 2022. A hydroponic plants and biofilm combined treatment system efficiently purified wastewater from cold flowing water aquaculture. Science of The Total Environment, 821, p.153534.
- 5)Mirck, J. and Zalesny, R.S. 2015. Mini-review of knowledge gaps in salt tolerance of plants applied to willows and poplars. International journal of phytoremediation, 17(7), pp.640-650.
- 6)Yan, K., Xu, H., Zhao, S., Shan, J., and Chen, X. 2016. Saline soil desalination by honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) depends on salt resistance mechanism. Ecological Engineering, 88, 226-231.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

The research has benefited from the financial and spiritual support of the Water and Sewerage Company of Sistan and Baluchistan Province following a research project between this company and the University of Sistan and Baluchistan under contract number 120/98/247.



کاهش شوری و فلزات سنگین آب لب شور با استفاده از گیاهان هالوفیت

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

سبحان پیشانی‌دار^۱، رضا جهانشاهی^{۲*}، محمدرضا میربلوچ‌زهی^۳

مقاله پژوهشی

چکیده

کمبود آب شیرین در کشور و وجود حجم بالای آب های شور سطحی و زیرزمینی، انجام پژوهش در ارتباط با راهکارهای طبیعی و بدون آلودگی زیست محیطی، در کاهش شوری منابع آب امری ضروری است. بنابراین در این تحقیق کاهش شوری یک نمونه آب لب شور از آب زیرزمینی دشت زاهدان با استفاده از گیاهان هالوفیت مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا از مدل فیزیکی آبیاری هیدروپونیک جهت تصفیه آب توسط گیاهان شورزی (آلوئه‌ورا و پامپاس) استفاده شده است. نتایج نشان داد که گیاه پالایی توسط گیاهان آلوئه‌ورا و پامپاس سبب کاهش شوری و برخی از عناصر موجود در آب شده است. مقایسه میزان کاهش غلظت متوسط عناصر توسط یک بوته از هر دو گیاه آلوئه‌ورا و پامپاس، نشان داد که در حجم حدود ۱۵ لیتر آب لب شور (با هدایت الکتریکی ۵۰۰۰ میکروموس بر سانتی متر) عناصر گوگرد، سدیم و پتاسیم به ترتیب به میزان ۲۶، ۱۴ و ۸/۵ میلی گرم در لیتر، بیشترین "مقدار حذف شدگی" از بین عناصر را داشته اند. در حالی که بیشترین "پتانسیل حذف شدگی" عناصر توسط گیاه آلوئه‌ورا و پامپاس مربوط به عنصر سزیم به ترتیب به میزان ۵۴ و ۸۵ درصد می باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری هیدروپونیک، آلوئه‌ورا، پامپاس، گیاه پالایی

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آب زمین شناسی، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. ایمیل: sobhan.pi94@gmail.com

۲-دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران. ایمیل: reza jahanshahi@ut.ac.ir (نویسنده مسول)

۳ - دکتری شیمی، شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران. ایمیل: daneshmir@yahoo.com



مقدمه

گیاه پالایی یک فن آوری نوین، ارزان، پایدار و دوستدار محیط زیست است که از گیاهان و میکروارگانیسم های وابسته برای پاکسازی آلودگی خاک، آب و جو استفاده می کند. کاربرد این تکنولوژی شامل استفاده از پوشش گیاهی در راستای پاکسازی خاک و آب از طریق جذب و برداشت آلاینده ها می باشد (توماس، ۲۰۱۶). برای اولین بار در سال ۱۹۸۳ استفاده از گیاهان در جهت پالایش محیط زیست ارائه شد؛ اما رسیدن به مفهوم کاربردی و قابل استفاده امروزی آن، ۳۰ سال به طول انجامیده است (میرک و زالسنی، ۲۰۱۵).

کشاورزی شورزی، کشت پایدار در محیط های شور با رویکرد زیست محیطی و به منظور بهره برداری اقتصادی و پایدار از منابع شور (آب و خاک شور) است. به بیانی دیگر شورزی به تولید اقتصادی محصولات کشاورزی از جمله گیاهان شورزی در محیط های شور اطلاق می شود (خورسندی و همکاران، ۱۳۸۹). بر اساس تعریف، شورزی ها گروهی از گیاهان هستند که می توانند دوره رشد خود را در غلظت حدود ۲۰۰ میلی مول نمک کلرید سدیم (TDS) معادل ۶/۱۱ گرم بر لیتر) تکمیل نمایند (فلاور و کلمر، ۲۰۰۸). در برخی از منابع نیز، شورزی به گیاهی اطلاق شده است که بتوانند چرخه زندگی خود را در محیط هایی با ۵ گرم بر لیتر مجموع مواد محلول تکمیل نمایند. بر همین اساس، مجموع مواد محلول برابر ۵ گرم بر لیتر به عنوان مرز بالایی تحمل گیاهان گلیکوفیت (شیرین زی) به شوری آب آبیاری تعیین شده است (میاموتو، ۱۹۹۹). بر اساس نتایج تحقیقات موجود، گیاهان شورزی (هالوفیت ها) بر اساس میزان تحمل شوری، به دو گروه یوهالوفیت ها و میوهالوفیت ها تقسیم می شوند (برکل، ۲۰۰۹). یوهالوفیت ها، گونه هایی با بالاترین تحمل به شوری می باشند که قادرند در آب دریا نیز رشد نمایند. در نقطه مقابل، میوهالوفیت ها، گونه هایی با تحمل کمتری در برابر

شوری هستند که قادرند در آب های لب شور، رشد و چرخه زندگی خود را کامل نمایند.

بر اساس نتایج تحقیقات موجود، شورزی ها در طیف وسیعی از شرایط محیطی شامل مناطق گرم صحرایی با کمترین تغییرات فصلی تا مناطق بسیار سرد و مرطوب با بیشترین تنوع آب و هوایی یافت می شوند. شوری در خاک، اغلب بر اساس وجود نمک کلرید سدیم در آن شناسایی می شود. توجه شود که برای گیاه، تطابق با شوری حاصل از NaCl به مراتب ساده تر از شوری ناشی از کلرید منیزیم و کربنات سدیم است. البته این موضوع، با بافت خاک نیز بسیار مرتبط است. ریشه های شورزی ها در خاک هایی با بافت دانه درشت (سبک) آسان تر از بافت های متراکم و یا بافت هایی با مقادیر نسبتاً زیاد رشد می کنند. در این خاک ها توسعه سیستم ریشه ها به مراتب بسیار زیادتر خواهد بود (بارت و همکاران ۲۰۰۳). در صورتی که میزان شوری لایه سطحی خاک کنترل شود، گیاهان شورزی می توانند به صورت پایدار در یک منطقه استقرار یابند. بنابراین جهت توسعه شورزی ها در یک منطقه، نیاز به دوره های کوتاه آبیاری (تناوب کوتاه آبیاری) و زهکشی مناسب است.

در سال ۱۹۳۶ واژه هیدروپونیک توسط گریک به منظور شرح کشت گیاهان در محلول غذایی برای اولین مرتبه بیان شد و از دو کلمه یونانی هیدرو (آب) و پونوس (کشت و کار) منشعب می باشد. در این روش گیاهان را با عناصر غذایی مورد نیازشان که در آب حل شده اند تغذیه می نمودند. در باغ هیدروپونیک به روش ثقلی قانون جاذبه زمین (روش عادی) و یا با کمک از یک پمپ الکترومکانیکی، محلول غذایی را در اختیار گیاهان قرار می دهند. در بعضی از روش ها ریشه های گیاهان درون محلول غذایی غوطه ور بوده و از یک پمپ هوا برای اکسیژن دهی به محلول در کف ظرف کشت استفاده شده که این امر مانع رکود و ایستایی محلول غذایی شده و اکسیژن مورد نیاز ریشه ها را تامین می نماید (وصال، ۱۳۹۴).

از مهمترین پژوهش های انجام شده در خصوص هالوفیت ها می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

فارضی و همکاران (۲۰۱۷) گیاه پالایی نمک با استفاده از گیاهان هالوفیتی را در تالاب های مصنوعی (CWS) بررسی کرده اند. هالوفیت های مورد استفاده در این تحقیق



نسبت به آب اولیه داشته است. بنابراین در قبل از شروع هر فصل زارعی، خاک باید از نظر عناصر مختلف مورد آزمایش قرار گیرد تا بتوان از کود مناسب و به میزان نیاز استفاده گردد. خداویسی و انگبین (۱۳۹۷) با استفاده از کشت گیاهان هالوفیت به صورت هیدروپونیک، پژوهشی در مورد طراحی و ساخت تصفیه خانه ای نوین، جهت ارتقای کیفیت پساب شهر بوشهر انجام داده‌اند. بدین منظور با استفاده از پایلوت در محل تصفیه خانه در دو حوضچه یکی حاوی گیاهان هالوفیت و دیگری حوضچه شاهد به صورت موازی قرار گرفتند. پارامترهای مورد اندازه‌گیری شامل EC، pH، DO، TSS، COD، نیترات، فسفات، کلیفرم کل و کلیفرم مدفوعی بودند. در دوره زمانی ۱۰ روزه و هر ۲ روز یکبار از فاضلاب حوضچه ها نمونه برداری انجام شد. راندمان حوضچه حاوی گیاه هالوفیت در حذف EC ۴۷٪، TSS/۹۷٪، COD ۵۶٪، نیترات ۶۱٪، کلیفرمهای کل و کلیفرم های مدفوعی به ترتیب ۹۹٪ و ۹۹٪/۵ بدست آمد. کلانتری و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی فاضلاب شور (پساب) از یک تصفیه‌خانه آب شیرین برای آبیاری چهار گیاه هالوفیت، از جمله آلوئه ورا، تامارکس آفیلا (کورگز)، روزمارینس اوفیسنالیس (رزماری) و ماتریکاریا چامومیلا (بابونه آلمانی) استفاده شد. این آزمایش کشت در سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ در زرین دشت جنوب ایران طراحی و اجرا شد. دو آبیاری از آب شیرین با شوری ۲/۰۴ دسی زیمنس بر متر و پساب شور تصفیه خانه با شوری ۵/۷۷ دسی زیمنس بر متر استفاده شد. آزمایش به صورت قطعه‌های جدا، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تکرار سه نمونه طراحی شد. نتایج آنالیز واریانس در غلظت نمک در آلوئه ورا نشان داد که تفاوت قابل توجهی بین اثرات دو کیفیت آب آبیاری به جز سدیم، وجود دارد. در حالیکه در تامارکس آفیلا تفاوت معنا داری وجود نداشت. در روزمارینس اوفیسنالیس تفاوت معنا داری بین نسبت پتاسیم به سدیم وجود داشت. در ماتریکاریا فقط در مقدار منیزیم و نسبت پتاسیم به سدیم دچار تغییر شده بود و در نتیجه، تفاوت معنی‌داری در جذب نمک توسط گیاهان مورد آزمایش در تصفیه دیده نشد. یان و همکاران (۲۰۱۶) تحقیقی را با عنوان نمک زدایی خاک شور با استفاده از گیاه هنیساکل انجام دادند. این مطالعه با هدف بررسی رابطه بین سازوکار تحمل به شوری در گیاه هنیساکل و نمک زدایی

طیف گسترده‌ای از شوری را تحمل و شوری محلول‌ها را با درصد متفاوت کاهش داده‌اند. آنان نشان دادند این گیاهان می‌توانند در مزارع نیز جهت مصرف خوراکی برای انسان و حیوان کشت داده شوند. لی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی تحت عنوان طراحی یک سیستم تصفیه کارآمد، ترکیبی از گیاهان هیدروپونیک و بیوفیلم را برای تصفیه فاضلاب پرورش آبزیان (ماهیان خاویاری در آب سرد) مورد بررسی قرار دادند. اخیراً آبیاری پروری با آب سرد بیشتر مورد استقبال قرار گرفته است، اما تصفیه فاضلاب آن همیشه نادیده گرفته می‌شود که باعث فشار زیادی بر محیط زیست می‌شود. نتایج پژوهش مذکور نشان می‌دهد که سیستم تصفیه بکار گرفته شده، توانسته است به ترتیب ۹۰، ۱۰۰، ۱۰۰، ۱۰۰ و ۴۸ درصد راندمان حذف ترکیبات و پارامترهای NO_3^- ، NH_4^+ ، TN، TP و COD از پساب تولید شده (حاصل پرورش ماهیان خاویاری) را به دست آورد. بوهمان و همکاران (۲۰۱۵) درباره بهینه سازی شرایط کشت و انتخاب گونه‌های هالوفیت‌ها به عنوان بیوفیلتر آب شور غنی از مواد مغذی، پژوهشی انجام داده‌اند. در این تحقیق از گیاهان مقاوم به شوری به عنوان بیوفیلترهای حذف شوری آب، در پساب‌های پرورش آبزیان استفاده شده است. بررسی این عملکرد با در نظر گرفتن پارامترهای مختلف مانند تولید زیست توده و همچنین پارامترهای فیزیولوژیک و کاهش غلظت نیترات و فسفات صورت گرفته است. آنها متوجه شدند آب شوری (پساب شور) که برای کشت این گونه هالوفیت‌ها استفاده می‌شود حداقل باید حاوی نیترات و فسفات به ترتیب با غلظت ۱۰ و ۰/۳ میلی گرم بر لیتر باشد. کرمی و دهکردی (۱۳۸۹) در یک پژوهش امکان استفاده از پساب جهت کشاورزی گیاهان مقاوم به شوری اقلیم خوزستان را (در دشت حمودی) انجام دادند. در این تحقیق روش کار و نتایج حاصل از دو پروژه ۱- بررسی و مقایسه پارامترهای کیفی آب ورودی و خروجی شبکه آبیاری دشت حمودی و ۲- مطالعات بومی سازی گونه‌های مختلف در خوزستان ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که آب آبیاری در شبکه حمودی حدود ۲۵۰ میلی موهس بر سانتی متر است که طی ماه‌های مختلف EC پساب نسبت به آب آبیاری ۲ تا ۳ برابر افزایش یافته است و همچنین TDS نیز مانند EC طی ماه‌های مختلف نمونه گیری، افزایش ۳ تا ۵ برابری



سطحی، تمایل به پژوهش در ارتباط با راهکارهای طبیعی مقرون به صرفه و بدون آلودگی زیست محیطی، در کاهش شوری منابع آب امری لازم و ضروری است. بنابراین در این تحقیق در شرایط آزمایشگاهی کاهش شوری یک نمونه آب زیرزمینی از دشت زاهدان با استفاده از گیاهان هالوفیت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

نمونه برداری آب و گیاه

در این پژوهش جهت انتخاب آب شور مناسب، پس از بررسی آب چاه‌های دشت زاهدان از نظر میزان شوری، سهولت حمل و نقل آب به آزمایش و در دسترس بودن آب چاه، یکی از چاه بهره برداری شرکت آب و فاضلاب در شهر زاهدان با موقعیت جغرافیایی ۶۰/۸۵ شرقی و ۲۹/۴۸ شمالی با هدایت الکتریکی ۵۰۰۰ میکروهوس بر سانتی‌متر و پساب خروجی تصفیه خانه شرکت آب و فاضلاب با هدایت الکتریکی ۱۶۰۰۰ میکروهوس بر سانتی‌متر مدنظر قرار گرفت. جهت انتخاب گیاهان هالوفیت نیز ابتدا ۶ گونه گیاه سیاه‌شور، سالیکورنیا، گل یخ، وتیور، آلونه‌ورا و پامپاس، جهت حذف عناصر اصلی و فرعی از آب لب شور در نظر گرفته شدند (شکل ۱ تا ۵).

گیاهی و مقایسه آن‌ها با شرایط تنش شوری در خاک شور انجام شد. گیاه هنیساکل به قطعه‌های بدون شوری و نیمه شور انتقال یافتند. شش ماه بعد از کشت، خاک شور توسط گیاه احیا شده بود، زیرا غلظت سدیم، نرخ جذب سدیم و هدایت الکتریکی در خاک کشت شده کاهش پیدا کرده است. در واقع این گیاه می‌تواند خاک شور را نمک زدایی کند و به وسیله تجمع سدیم در ساقه‌های خود این کار را انجام می‌دهد. تنفس ریشه، بوسیله شوری افزایش می‌یابد که این باعث افزایش تحمل به نمک از طریق افزایش جذب سدیم و کمک به نمک زدایی خاک شور با بهبود فرآیند آبشویی سدیم شده است. بنابراین، تنفس ریشه به عنوان پلی بین مقاومت نمک و گیاه پالایی خاک‌های شور عمل می‌کند. در تحقیقات گلن و همکاران (۱۹۹۱) بیشینه عملکرد گیاهانی مانند سالیکورنیا در TDS آب کمتر از ۲۰ گرم در لیتر مشاهده شد. با افزایش شوری به حدود ۲۵ تا ۳۰ گرم در لیتر، عملکرد به طور معنی‌دار در این گیاهان کاهش نشان داد. البته در این آزمایش اعلام شد که در صورت کنترل شوری خاک از طریق انجام آبیاری تا حدود ۲-۳ برابر نیاز عادی، عملکرد را تا حدودی می‌توان به شرایط شوری ۲۰ گرم در لیتر نزدیک نمود. به عبارت دیگر در صورت استفاده از آب‌های شور و ابر شور، کسر آبشویی باید بسیار بالاتر از حد معمول در نظر گرفته شود.

با توجه به مطالب ذکر شده در بالا و کمبود آب شیرین در کشور و وجود حجم بالای آب‌های شور زیرزمینی و



شکل (۱): گیاه شوره سیاه در نواحی شهر زابل



شکل (۲): گیاه سالیکورنیا (پارک علم و فناوری زاهدان)



شکل (۳): گیاهان تیور و پامپاس (آزمایشگاه آب، دانشگاه سیستان و بلوچستان)



شکل (۴): گیاه آلوئه‌ورا



شکل (۵): گیاه گل یخ

گرفت. در حالیکه در روش دوم ظروف مکعب مستطیل از جنس پلی اتیلن با حجم ۱۸ لیتر در نظر گرفته شده است (شکل ۶ب). سپس ورقه‌هایی سبک با چگالی کمتر از آب از جنس یونولیت بروی آب درون ظروف قرار داده شد تا گیاه بر روی آب شناور و مستحکم باشد. در این حالت ریشه گیاه با فاصله کمی در معرض هوا قرار می‌گیرد و از خفگی و شوک ناشی از کمبود هوا جلوگیری می‌کند.

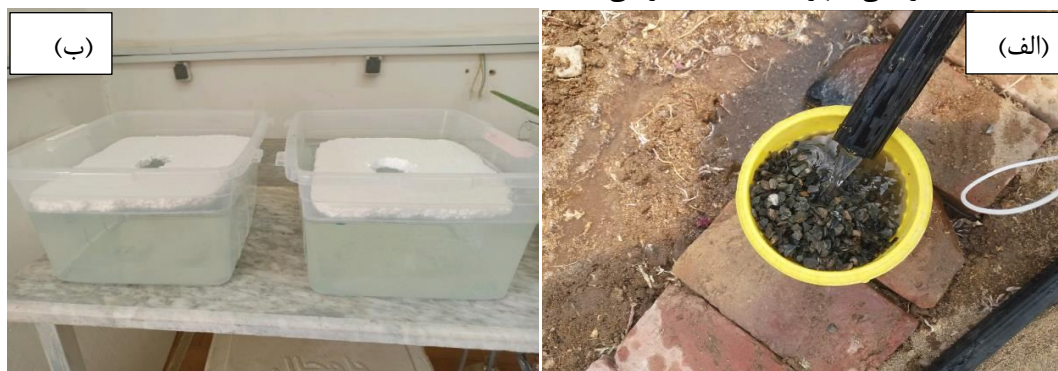
مدل فیزیکی گیاه پالایی

جهت انجام آزمایش بررسی توانایی گیاهان هالوفیت در جذب عناصر از آب، از دو روش الف) کشت گیاه در گلدان با رسوب درشت دانه و ب) روش هیدروپونیک مدنظر قرار گرفته است. در این راستا در روش اول گلدان‌های با قطر ۲۵ و ارتفاع ۲۰ سانتیمتر با ذرات سنگ شن درشت دانه ۵-۸ میلی‌متر پر شدند (شکل ۶الف) و هوادهی به ریشه گیاه جهت جلوگیری از خفگی ریشه با پمپ هوا انجام

۱۵۰۰ میکروموموس بر سانتی متر) قرار داده شد. همچنین گیاهان آلئوئورا نیز در این مدت، مشابه با گیاه پامپاس جهت وفق با شرایط جدید، در مخزن آب شهری قرار داشته اند. لازم به ذکر است در طی این مدت، آب ظروف چندین بار تعویض شد تا شرایط مناسب برای رشد بهتر گیاهان فراهم گردد. سپس جهت جلوگیری از خطای حاصل از آب شهری (ورود آب لوله کشی شهری به داخل ظروف آزمایش)، ریشه گیاهان مورد نظر، ظروف و صفحات یونولیت با آب مقطر و آب لب شور چاه (آب مورد آزمایش)، شستشو داده شدند. در نهایت آب لب شور به درون ظروف آزمایش انتقال داده شده و سپس صفحات یونولیت روی آب ظروف قرار داده شد تا گیاهان به صورت شناور روی آن قرار گیرند (شکل ۸). در این پایلوت، به مدت سیزده و بیست و شش روز نمونه های گیاهان تحت آبیاری هیدروپونیک قرار داشتند و بعد از سپری شدن این مدت، هدایت الکتریکی و pH نمونه آب های ظروف اندازه گیری شد (جدول ۱) و از آنها نمونه های آب، جهت آنالیز شیمیایی برداشت گردید. نمونه های مذکور در آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما، تهران از طریق دستگاههای ICP-OES و ICP-MS مورد آنالیز قرار گرفتند.

کشت گیاهان شوره سیاه، گل یخ، سالیکورنیا و آلئوئورا، پامپاس و وتیور با استفاده از روش اول با سه گلدان با استفاده از آب های لب شور با هدایت الکتریکی ۵۰۰۰ و ۱۶۰۰۰ میکروموموس بر سانتی متر انجام گردید (شکل ۷). همچنین یک گلدان حاوی آب و بدون گیاه بعنوان شاهد نیز جهت بررسی اثر تبخیر در نظر گرفته شد. این آزمایش به مدت ۲۶ روز انجام گردید. از بین گیاهان مذکور به جز آلئوئورا و پامپاس (در حضور آب با هدایت الکتریکی ۵۰۰۰ میکروموموس بر سانتی متر)، دیگر گیاهان در مدت آزمایش خشک شدند. لذا گیاهان شوره سیاه، گل یخ، سالیکورنیا و وتیور و همچنین آب شور با هدایت الکتریکی ۱۶۰۰۰ میکروموموس بر سانتی متر در فرایند پژوهش کنار گذاشته شدند. بنابراین دو گونه گیاه هالوفیت آلئوئورا و پامپاس جهت آبیاری به روش هیدروپونیک با هدایت الکتریکی ۵۰۰۰ میکروموموس بر سانتی متر به همراه یک ظرف آب لب شور مذکور و بدون گیاه (بعنوان شاهد جهت بررسی اثر تبخیر) مدنظر قرار گرفتند.

ریشه نمونه های گیاه پامپاس بعد انتقال از گلخانه دانشگاه سیستان و بلوچستان شستشو داده شده تا گل و لای به دام افتاده درون ریشه گیاه خارج گردد. سپس جهت تطبیق با شرایط آزمایشگاهی به مدت یک هفته درون مخزن آب (آب شبکه آبرسانی شهر با هدایت الکتریکی



شکل (۶): پایلوت کشت گیاهان، گلدان حاوی ذرات رسوب درشت دانه، روش اول (الف) ظروف آبیاری هیدروپونیک، روش دوم (ب)



شکل (۷): کشت گیاهان در گلدان و ظرف نمونه شاهد تبخیر



شکل (۸): نحوه قرار گیری گیاهان در ظروف و صفحات یوتولیت جهت آبیاری هیدروپونیک

جدول (۱): نتایج تغییرات هدیت الکتریکی و pH آب شور در زمان های شروع آزمایش، روز سیزدهم و روز بیست و ششم

نام	شروع EC (μS)	شروع pH	روز سیزدهم EC (μS)	روز سیزدهم pH	روز بیست و ششم EC (μS)	روز بیست و ششم pH
نمونه اولیه	۵۰۰۰	۷/۲	-	-	-	-
نمونه شاهد ۱	۵۰۰۰	۷/۲	۵۲۴۰	۷/۴	۵۵۰۰	۷/۴
نمونه شاهد ۲	۵۰۰۰	۷/۲	۵۳۰۰	۷/۵	۵۶۹۰	۷/۳
نمونه آلوئه ورا ۱	۵۰۰۰	۷/۲	۵۳۰۰	۶/۹	۵۶۳۰	۶/۵
نمونه آلوئه ورا ۲	۵۰۰۰	۷/۲	۵۲۸۰	۶/۷	۵۶۵۰	۶/۴
نمونه پامپاس ۱	۵۰۰۰	۷/۲	۵۶۱۰	۶/۶	۶۷۲۰	۶/۱
نمونه پامپاس ۲	۵۰۰۰	۷/۲	۵۶۱۰	۶/۷	۶۱۵۰	۶/۵

ادامه با توجه به نتایج جدول ۱ به بررسی اثر گیاه پالایی پرداخته شده است.

مقادیر جذب شده

-گیاه پامپاس (دوره اول):

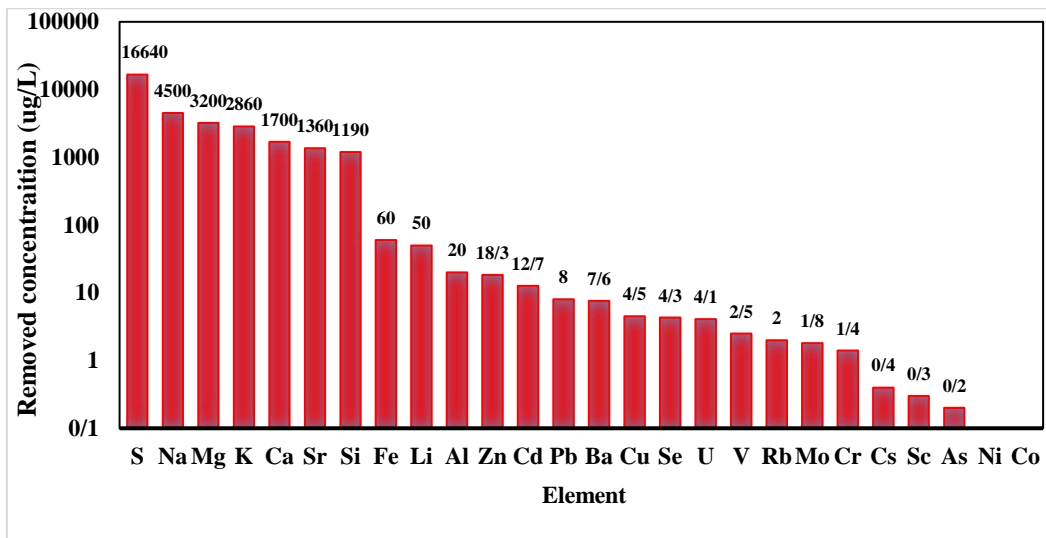
مقادیر عناصر مختلف حذف شده (تفاضل بین غلظت اولیه در آب و غلظت بعد از گیاه پالایی) توسط گیاه پامپاس

بحث و نتایج

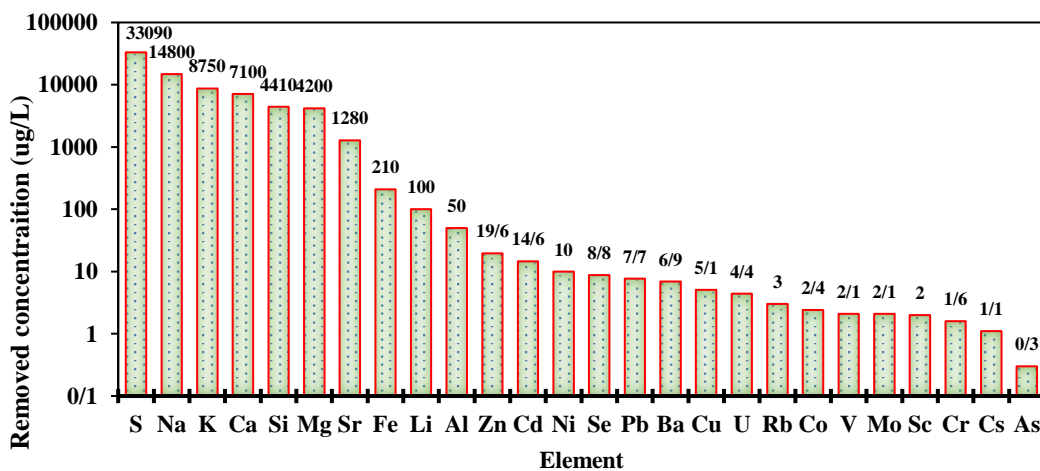
همانطور که پیش از این اشاره شده با استفاده از مدل فیزیکی قرارگیری گیاهان در مجاورت آب لب شور، گیاه پالایی جذب برخی از عناصر اصلی و فرعی توسط دو گیاه پامپاس و آلوئه ورا در دو بازه زمانی ۱۳ و ۲۶ روزه (به ترتیب به اختصار دوره اول و دوره دوم) انجام گردیده است. در

شکل ۱۰ مقادیر غلظت عناصر حذف شده توسط گیاه پامپاس در دوره دوم (آبیاری هیدروپونیک به مدت ۲۶ روز) را نشان می‌دهد. در مدت هم‌جواری ریشه گیاه پامپاس با آب لب شور، عنصر گوگرد بیشترین جذب شدگی را نسبت به سایر عناصر نشان می‌دهد و کمترین حذف در عنصر آرسنیک قابل مشاهده است. همچنین در این مدت، گیاه غلظت عناصر سدیم، پتاسیم، کلسیم، سیلیسیم، منیزیم و استرانسیم را حدوداً بین ۱ تا ۳۳ میکروگرم در لیتر کاهش داده است.

در دوره اول به ترتیب از بیشتر به کمتر در شکل ۹ نشان داده شده است. این گیاه بیشترین و کمترین جذب را به ترتیب برای گوگرد و آرسنیک به میزان ۱۶۶۴۰ و ۰/۲ میکروگرم در لیتر داشته است و در این مدت عناصر کبالت و نیکل جذب نشده‌اند. در ضمن مشاهده می‌شود بعد از گوگرد، عناصر سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم، استرانسیم و سیلیس به مقدار زیاد از آب توسط گیاه حذف شده است. -گیاه پامپاس (دوره دوم):



شکل (۹): مقادیر غلظت عناصر حذف شده توسط گیاه پامپاس در دوره اول (آبیاری هیدروپونیک به مدت ۱۳ روز)



شکل (۱۰): مقادیر غلظت عناصر حذف شده توسط گیاه پامپاس در دوره دوم (آبیاری هیدروپونیک به مدت ۲۶ روز)

کلسیم، منیزیم و گوگرد بیشترین حذف شدگی (نزدیک به ۵۰۰۰ تا ۶۲۰۰ میکروگرم در لیتر) را داشته‌اند. همچنین

- گیاه آلوتئورا (دوره اول):

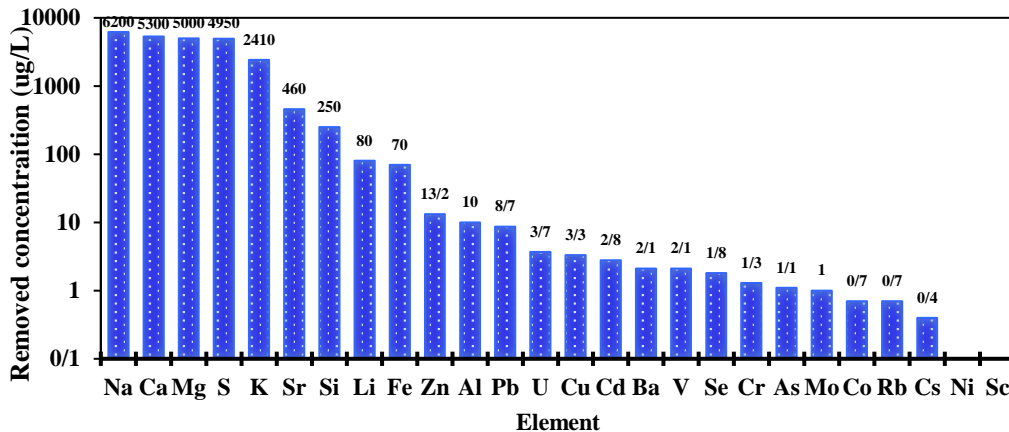
نمودار مقادیر عناصر حذف شده از آب لب شور توسط گیاه آلوتئورا در شکل ۱۱ نشان می‌دهد عناصر سدیم،

بیشترین مقدار جذب مربوط به عنصر گوگرد (۱۹۷۳۰ میکروگرم در لیتر) است و در مرتبه های بعدی سدیم، پتاسیم، کلسیم، سیلیس و منیزیم با غلظتی بیش از ۱۰۰۰ میکروگرم در لیتر قرار دارند. در حالیکه کمترین مقدار حذف شدگی در عناصر سزیم و آرسنیک به میزان ۰/۸-۰/۷ میکروگرم در لیتر دیده می شود.

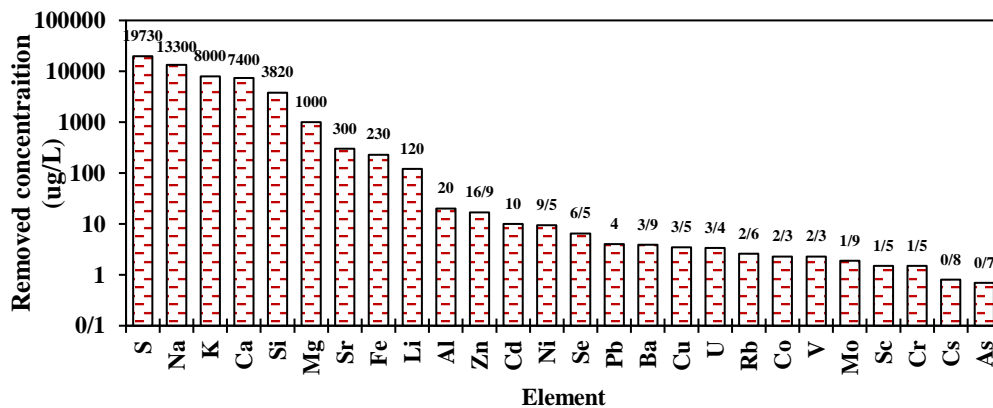
عنصر سزیم کمترین جذب به مقدار ۰/۴ میکروگرم در لیتر داشته است و عناصر نیکل و اسکاندنیم جذبی نداشته اند.

گیاه آلوئه‌ورا (دوره دوم):

همان طور که در شکل ۱۲ مشاهده می شود در مدت ۲۶ روز آبیاری هیدروپونیک گیاه آلوئه‌ورا با آب لب شور،



شکل (۱۱): مقادیر غلظت حذف شده عناصر توسط گیاه آلوئه‌ورا در دوره اول (آبیاری هیدروپونیک به مدت ۱۳ روز)



شکل (۱۲): مقادیر غلظت عناصر حذف شده توسط گیاه آلوئه‌ورا در دوره دوم (آبیاری هیدروپونیک به مدت ۲۶ روز)

فرعی دیده می شود که گیاه پامپاس عناصر استرانسیوم، آلومینیوم، کادمیوم، سلنیوم، مولیبدین، باریم و روبیدیم را بیش از ۱/۵ برابر نسبت به گیاه آلوئه‌ورا از محیط آب خارج کرده است. در حالی که گیاه آلوئه‌ورا فقط عناصر لیتیم و آرسنیک را بیشتر از پامپاس از آب حذف کرده است. در دیگر عناصر، مقادیر جذب دو گیاه تقریباً یکسان است. در دوره دوم شکل ۱۳ مشاهده می شود به مانند دوره اول هر دو گیاه به طور موثر در کاهش غلظت عناصر اصلی عمل کرده اند. اما با توجه به افزایش دوره آبیاری (۲۶ روز)، مقدار

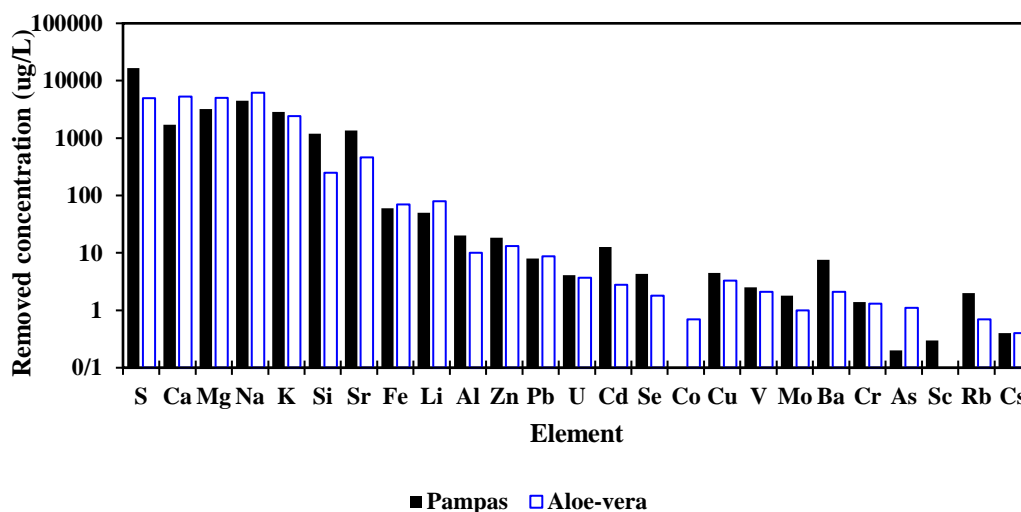
مقایسه گیاهان پامپاس و آلوئه‌ورا

بر اساس شکل ۱۳ در مقایسه میزان کاهش غلظت عناصر توسط دو گیاه آلوئه‌ورا و پامپاس در دوره اول مشاهده می شود که گیاه پامپاس عناصر اصلی، عناصر سیلیس و گوگرد را به ترتیب حدود ۵ و ۳ برابر بیش از گیاه آلوئه‌ورا جذب کرده است و عنصر پتاسیم را کمی بیش از آلوئه‌ورا از محیط آب حذف کرده است. در حالی که گیاه آلوئه‌ورا عناصر کلسیم، منیزیم و سدیم را نزدیک به ۱/۵ برابر بیش از گیاه پامپاس جذب کرده است. برای عناصر

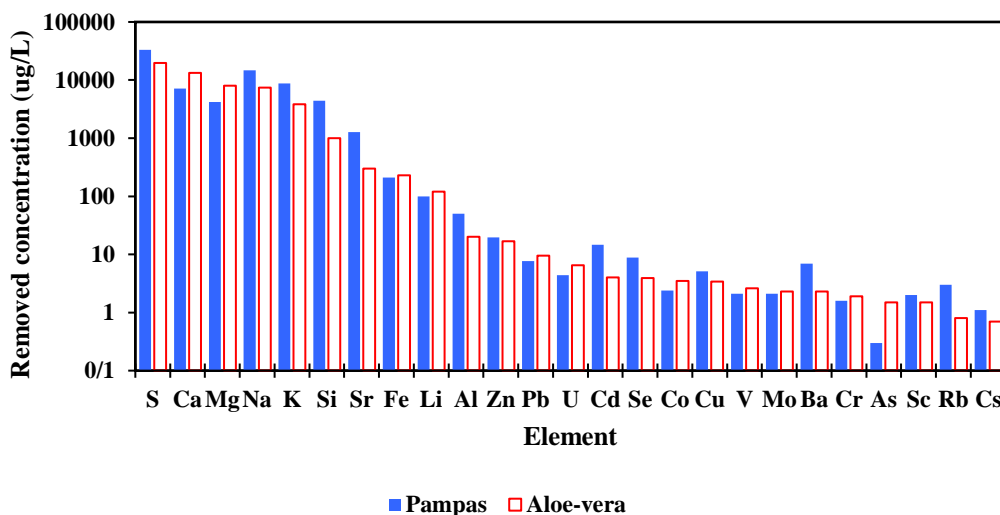


عناصر فرعی و با مقدار غلظت کم نیز دو گیاه توانسته‌اند اثر مثبتی داشته باشند. گیاه پامپاس در جذب عناصر سزیم، روبیدیم، اسکاندیم و باریوم عملکرد بهتری نسبت به گیاه آلوئه‌وا در کاهش غلظت این عناصر ایفا کرده است. در حالی که گیاه آلوئه‌وا در حذف عناصر آرسنیک، کروم و مولیبدن نسبت به گیاه پامپاس، توانایی بیشتری داشته است.

کاهش غلظت توسط گیاهان بیشتر بوده است. توانایی گیاه پامپاس و آلوئه‌وا در حذف عناصر در دوره دوم به نسبت دوره اول، افزایش ۲ الی ۴ برابری را نشان می‌دهد. در عناصر اصلی گیاه پامپاس به طور مثال در عنصر گوگرد و سدیم به ترتیب ۱/۵ و ۲ برابر نسبت به گیاه آلوئه‌وا عملکرد بهتری را در جذب نشان داده است. اما گیاه آلوئه‌وا در حذف عناصر کلسیم و منیزیم نزدیک به ۲ برابر عملکرد بهتری را نسبت به گیاه پامپاس نشان داده است. همچنین در



شکل (۱۳): مقایسه میزان کاهش غلظت عناصر توسط دو گیاه آلوئه‌وا و پامپاس در دوره اول



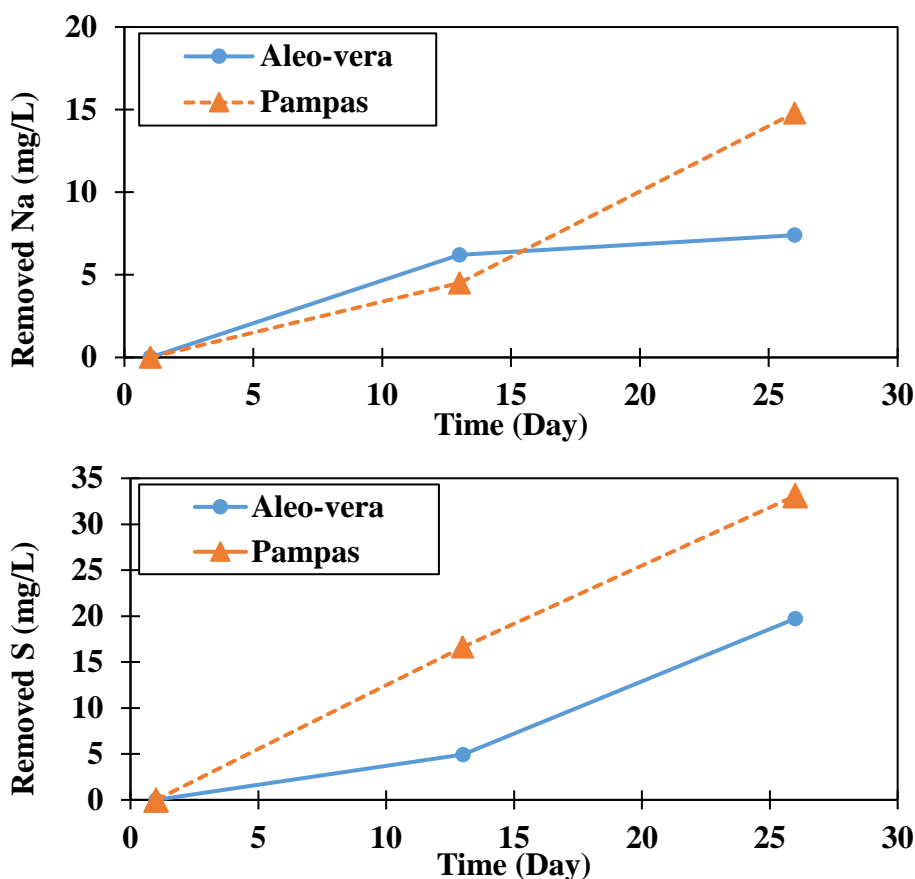
شکل (۱۴): مقایسه میزان کاهش غلظت عناصر توسط دو گیاه آلوئه‌وا و پامپاس در دوره دوم

خروجی از مدل فیزیکی آبیاری هیدروپونیک گیاهان آلوئه‌وا و پامپاس ترسیم شده است. مشاهده می‌شود با

به منظور اثر زمان آبیاری هیدروپونیک گیاهان هالوفیت بر کاهش شوری آب حاصل از سدیم و گوگرد، در شکل ۱۵ تغییرات زمانی غلظت سدیم و گوگرد حذف شده در آب

آب بعد از آبیاری به احتمال قوی به دلیل ورود اسیدهای آلی از متابولیسم رشد گیاهان هالوفیت بوده است و کاهش pH آب نیز تایید کننده آن می باشد.

گذشت زمان، کاهش شوری رخ داده است و گیاه پامپاس عملکرد بهتری نسبت به آلونه را داشته است. با توجه به اینکه اکثر عناصر در آب بعد آبیاری غلظتی کمتر از زمان پیش از آبیاری دارند، علت افزایش هدایت الکتریکی



شکل (۱۵): تغییرات زمانی غلظت سدیم و گوگرد حذف شده در آب خروجی از مدل فیزیکی آبیاری هیدروپونیک گیاهان آلونه‌ورا و پامپاس

در شکل ۱۶ مشاهده می شود بیشترین پتانسیل حذف شدگی عناصر، مربوط به عنصر سزیم به میزان ۵۴ درصد می باشد. عناصر نیکل، آهن، وانادیوم، مس، کروم، روی و سرب در رده های بعدی با بیش از ۳۰ درصد پتانسیل حذف شدگی قرار دارند. نکته قابل توجه این است که پتانسیل حذف شدگی عناصر سدیم و گوگرد به ترتیب به مقدار ۱ و ۴ درصد، پایین ترین مقادیر را داشته است. در حالیکه از نظر مقدار غلظت عنصر حذف شده، بالاترین مقادیر را نسبت به عناصر دیگر داشتند.

- گیاه پامپاس:

پتانسیل حذف شدگی عناصر توسط گیاه

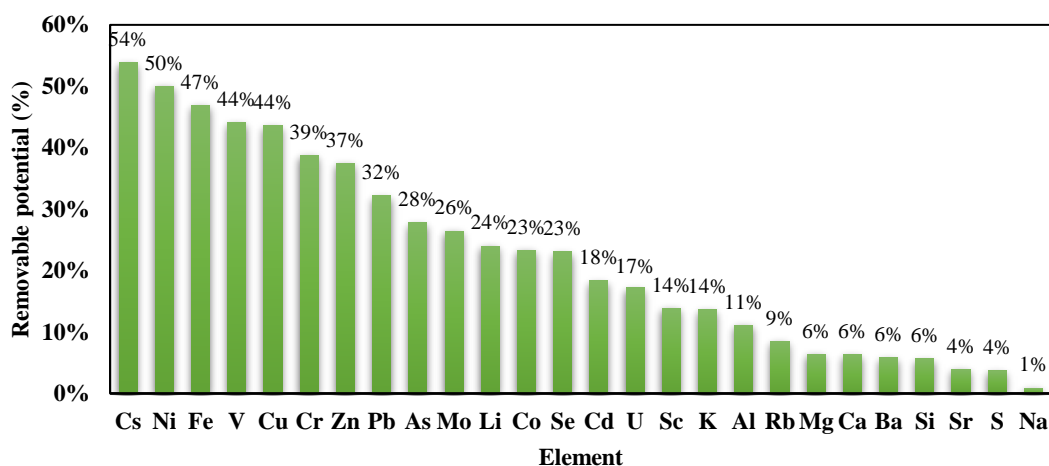
در بخش قبل حذف شدگی عناصر براساس میزان غلظت مورد ارزیابی قرار گرفت. اما باید توجه داشت مقادیر حذف شدگی بسیار تحت تاثیر غلظت اولیه آن عنصر در آب است و لذا در این تحقیق جهت همسان سازی مقایسه جذب عناصر با یکدیگر، معیاری با عنوان "پتانسیل حذف شدگی" تعریف شد که برابر با نسبت مقادیر حذف شده به مقادیر اولیه عنصر در آب می باشد.

- گیاه آلونه‌ورا:

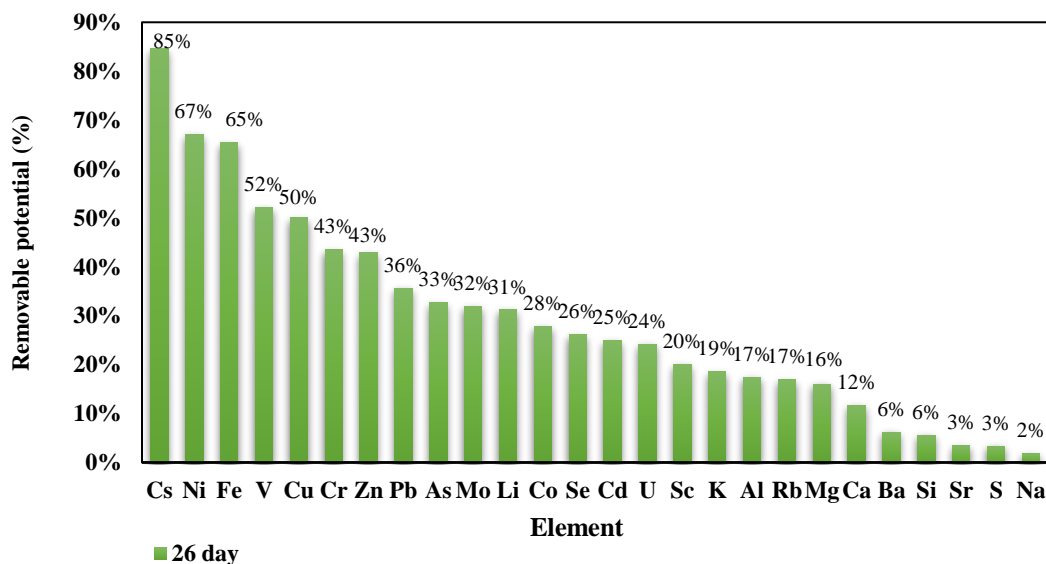


نشان داده اند. نکته قابل توجهی که دیده می شود این است که همانند گیاه آلوئه‌ورا، عناصر گوگرد و سدیم با وجود اینکه از نظر مقدار غلظت عنصر حذف شده، بالاترین مقادیر را دارند؛ پتانسیل حذف شدگی این دو عنصر به ترتیب به مقدار ۲ و ۳ درصد، پایین ترین مقادیر را داشته اند.

در شکل ۱۷ دیده می شود بیشترین پتانسیل حذف شدگی عناصر، مربوط به عنصر سزیم به میزان ۸۵ درصد است. عناصر نیکل، آهن، وانادیوم و مس در رده های بعدی با بیش از ۵۰ درصد پتانسیل حذف شدگی قرار دارند و عناصری مانند کروم، روی، سرب، آرسنیک، مولیبدن و لیتیم با ۳۰ درصد، پتانسیل حذف شدگی ضعیف تری را



شکل (۱۶): ترتیب افزایشی درصد پتانسیل حذف شدگی عناصر مختلف بوسیله گیاه آلوئه‌ورا



شکل (۱۷): درصد پتانسیل حذف شدگی عناصر در گیاه پامپاس

پامپاس در حجم حدود ۱۵ لیتر آب لب شور برای عناصر گوگرد، سدیم و پتاسیم به ترتیب به میزان ۲۶، ۱۴ و ۸/۵ میلی گرم در لیتر بدست آمد. در دوره اول گیاه پامپاس از بین عناصر اصلی، عناصر سیلیسیوم، گوگرد و پتاسیم را بیش از گیاه آلوئه‌ورا جذب کرده است. در حالیکه گیاه آلوئه

نتیجه گیری

گیاه پالایی توسط گیاهان آلوئه‌ورا و پامپاس سبب کاهش شوری و برخی از عناصر موجود در آب مورد آزمایش شده‌اند. بیشترین مقدار حذف شدگی یا کاهش غلظت متوسط عناصر توسط یک بوته از هر دو گیاه آلوئه‌ورا و

حذف شدگی قرار دارند. برای گیاه پامپاس بیشترین پتانسیل حذف شدگی عناصر مربوط به عنصر سزیم به میزان ۸۵ درصد است. عناصر نیکل، آهن، وانادیوم و مس در رده های بعدی با بیش از ۵۰ درصد پتانسیل حذف شدگی قرار دارند و عناصری مانند کروم، روی، سرب، آرسنیک، مولیبدن و لیتیم با ۳۰ درصد پتانسیل حذف شدگی ضعیف تری را نشان داده اند.

قدردانی: پژوهش انجام شده از حمایت مالی و

معنوی شرکت آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان پیرو طرح پژوهشی فی مابین شرکت مذکور و دانشگاه سیستان و بلوچستان به شماره قرارداد ۲۴۷/۹۸/۱۲۰ بهرمنند شده است.

ورا عناصر کلسیم، منیزیم و سدیم را نزدیک به ۱/۵ برابر بیش از گیاه پامپاس جذب کرده است. برای عناصر فرعی دیده می شود که گیاه پامپاس عناصر استرانسیوم، آلومینیوم، کادمیوم، سلنیوم، مولیبدین، باریم و روبیدیم را بیشتر از گیاه آلوئه‌ورا از محیط آب خارج کرده است. در مقابل گیاه آلوئه‌ورا فقط عناصر لیتیم و آرسنیک را بیشتر از پامپاس از آب حذف کرده است. در دوره دوم با توجه به افزایش دوره آبیاری، مقدار کاهش غلظت توسط گیاهان افزایش ۲ الی ۴ برابری داشته است. با این وجود علت افزایش هدایت الکتریکی آب بعد از آبیاری به احتمال قوی به دلیل ورود اسیدهای آلی از متابولیسم رشد گیاهان هالوفیت بوده است. بیشترین پتانسیل حذف شدگی عناصر توسط گیاه آلوئه‌ورا مربوط به عنصر سزیم به میزان ۵۴ درصد می باشد. عناصر نیکل، آهن، وانادیوم، مس، کروم، روی و سرب در رده های بعدی با بیش از ۳۰ درصد پتانسیل

منابع

- خداویسی، ج.، انگبین، س. ۱۳۹۷. طراحی و ساخت تصفیه خانه ای نوین جهت ارتقای کیفیت پساب شهر بوشهر با استفاده از کشت گیاهان هالوفیت به صورت هیدروپونیک، همایش ملی راهبردهای مدیریت منابع آب و چالش های زیست محیطی، مقاله شماره ۱۰، ص ۱۰-۱.
- خورسندی، ف.، وزیری، ژ.، عزیزی زهان، ع. ا. ۱۳۸۹. شورورزی: استفاده پایدار از منابع آب و خاک شور در کشاورزی. انتشارات. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ص ۳۳۶.
- کریمی، ح.، صانعی دهکردی، خ. ۱۳۸۹. بررسی امکان استفاده بهینه از پساب کشاورزی با پیشنهاد گیاهان مقاوم به شوری اداپته شده با اقلیم خوزستان، مطالعه موردی دشت حمودی، دومین سمینار ملی جایگاه آبهای بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب، مقاله شماره ۵، ص ۱۲-۱.
- وصال، س. ا. ۱۳۹۴. هیدروپونیک: راهنمای کامل و عملی کشت بدون خاک. انتشارات جهاد دانشگاهی واحد مشهد.
- Barrett-Lennard, E.G., Bathgate, A.D. and Malcolm, C.V. 2003. Saltland pastures in Australia, a practical guide. Department of Agriculture and Food, Western Australia. Perth Bulletin, 4312.
- Breckle, S.W. 2009. Is sustainable agriculture with seawater irrigation realistic?. In Salinity and water stress, Springer, Dordrecht, pp. 187-196.
- Farzi, A., Borghei, S.M. and Vossoughi, M. 2017. The use of halophytic plants for salt phytoremediation in constructed wetlands. International journal of phytoremediation, 19(7), pp.643-650.
- Flowers, T. J. and Colmer, T. D. 2008. Salinity tolerance in halophytes. New Phytologist, 945-963.
- Glenn, E.P., O'Leary, J.W., Watson, M.C., Thompson, T.L. and Kuehl, R.O. 1991, *Salicornia bigelovii* Torr.: an oilseed halophyte for seawater irrigation. Science, 251(4997), pp.1065-1067.



- Kalantari, E., Hassanli, A., Ghanbarian, G. A., Ghaemi, A. A. and Mousavi, S. R. 2018. Local desalination treatment plant wastewater reuse and evaluation potential absorption of salts by the halophyte plants. *Eurasian Journal of Soil Science*, 7(1): 43-50 .
- Li, P., Wang, C., Liu, G., Luo, X., Rauan, A., Zhang, C., Li, T., Yu, H., Dong, S. and Gao, Q. 2022. A hydroponic plants and biofilm combined treatment system efficiently purified wastewater from cold flowing water aquaculture. *Science of The Total Environment*, 821, p.153534.
- Mirck, J. and Zalesny, R.S. 2015. Mini-review of knowledge gaps in salt tolerance of plants applied to willows and poplars. *International journal of phytoremediation*, 17(7), pp.640-650.
- Miyamoto, S., Glenn, E.P. and Olsen, M.W. 1996. Growth, water use and salt uptake of four halophytes irrigated with highly saline water. *Journal of Arid Environments*, 32(2), pp.141-159.
- Thomas, B., 2016. *Encyclopedia of applied plant sciences*. Academic Press.
- Yan, K., Xu, H., Zhao, S., Shan, J., and Chen, X. 2016. Saline soil desalination by honeysuckle (*Lonicera japonica* Thunb.) depends on salt resistance mechanism. *Ecological Engineering*, 88, 226-231.