

Effect of Irrigation with Magnetized Treatment Waste-Water on Soil Chemical Properties of Rice Cultivation

Leyli GhorbaniMinaei¹, Mehdi Zakerinia^{2*}, Abbas RezaeiAsl³, HamidReza Mirkarimi⁴

(Received: September 2023 Accepted: August, 2024)

Abstract

Considering the limitation of water resources and the strategic nature of rice production as a water-consuming product, it is necessary to change irrigation management by using new irrigation methods and lower-quality water. Low-quality water and conditions can challenge agriculture and cause changes in soil properties. With methods such as magnetized water, their adverse effects can be significantly limited. In order to maintain rice production and at the same time minimize the environmental effects, the present research aims to investigate the effect of magnetized of treatment waste-water plant on electrical conductivity, sodium absorption ratio, potassium and magnesium of soil at depths of 0-15, 15-30 and 30-45 which are abbreviated as depth one, two and three. For this purpose, a factorial experiment was conducted as a randomized complete block design with three replications. The experimental treatments include the irrigation method factor including surface irrigation (B) and subsurface irrigation (S), the water type factor in two levels including healthy water (C) and treated waste-water (W) and magnetic treatment of water method factor including magnetized water (M), and Non-magnetized water (O). The treatment combination of surface irrigation with well water non-magnetized water (OCB) was considered as a control. In different soil depths in all treatment combinations, at the probability level of 5%, the average value compared to their initial value showed a decrease significantly in sodium absorption ratio, an increase significantly in magnesium value, an increase in electrical conductivity except for OCB at three depths, and an increase significantly in potassium value except for MCB, MWB and MWS in depth one has decreased. The general result is that the irrigation of rice with magnetic effluent in the surface irrigation method is recommended due to the increase in the washing effect under the influence of magnetization, in order to reduce the harmful effects of the accumulation of elements on the soil surface.

Key words: Magnetized Water, Soil Properties, Unconventional Water, Water Remediation.

Ghorbani-Minaei L., Zakerinia M., RezaeiAsl A. and Mirkarimi H.R. 2025. Effect of Irrigation with Magnetized Treatment waste-water on soil Chemical properties of Rice Cultivation. *Applied Soil Research*, 13(1): 63-78.

1. Former MSc Student, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

3. Associate Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystem, Faculty of Water and Soil Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

4. Ph.D., Department of Plant Breeding, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran, Tehran, Iran

* Corresponding Author Email: a_zakerinia@yahoo.com

تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه شهری مغناطیس شده بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت برنج

لیلی قربانی مینائی^۱، مهدی ذاکری‌نیا^{۲*}، عباس رضایی‌اصل^۳، حمیدرضا میرکریمی^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶)

چکیده

با توجه به محدودیت منابع آب و استراتژیک بودن تولید برنج به‌عنوان یک محصول آب‌بر، نیازمند تغییر مدیریت آبیاری با استفاده از روش‌های نوین آبیاری و آب با کیفیت پایین‌تر است. کیفیت و شرایط آب با کیفیت پایین می‌تواند چالش‌هایی را در کشاورزی فراهم کند و سبب تغییراتی در ویژگی‌های خاک شود. با روش‌هایی مانند مغناطیس کردن آب می‌توان اثرات منفی آن‌ها را به‌طور قابل توجهی محدود کرد. تحقیق حاضر برای حفظ تولید برنج و در عین حال به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی با هدف بررسی اثر مغناطیسی شدن پساب تصفیه‌خانه شهری بر هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، پتاسیم و منیزیم خاک در اعماق ۰-۱۵، ۱۵-۳۰ و ۳۰-۴۵ که به اختصار عمق یک، دو و سه نامیده می‌شوند انجام گردید. بدین منظور آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه عامل و در سه تکرار در پردیس دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. عامل اول شامل (۱) نوع آبیاری: آبیاری سطحی (B) و زیرزمینی (S)، و عامل دوم شامل: نوع آب آبیاری: آب معمولی (C) و پساب تصفیه‌شده شهری گرگان (W) و عامل سوم شامل: روش اصلاح آب با مغناطیس (M) و عدم مغناطیس (O) بودند. نتایج نشان داد که در اعماق مختلف خاک در تمام تیمارها، کاهش معنی‌دار نسبت جذب سدیم، افزایش منیزیم، افزایش هدایت الکتریکی به جز OCB در عمق سه، کاهش معنی‌دار پتاسیم به جز MCB، MCB و MWS در عمق یک مشاهده شد. نتیجه کلی آنکه آبیاری با پساب مغناطیس در روش آبیاری سطحی برنج به‌دلیل افزایش اثر آبهویی تحت تأثیر میدان مغناطیسی، به خاطر کاهش اثرات مضر تجمع عناصر در سطح خاک توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: آب نامتعارف، اصلاح خواص آب، ویژگی‌های خاک، میدان مغناطیسی.

قربانی مینائی ل.، ذاکری‌نیا م.، رضایی‌اصل ع.، میرکریمی ح. ر. ۱۴۰۴. تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌خانه شهری مغناطیس شده بر برخی ویژگی‌های شیمیایی خاک تحت کشت برنج. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره ۱. صفحه: ۶۳-۷۸.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. (مکاتبه‌کننده)

۳- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشکده مهندسی آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- دکتری اصلاح نباتات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

* پست الکترونیک: a_zakerinia@yahoo.com

مقدمه

آب برای زندگی و سلامت، امنیت غذایی، توسعه اقتصادی و اجتماعی، ثبات سیاسی و حفظ اکوسیستم ضروری است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، تغییرات آب و هوایی و توزیع نابرابر منابع آب، توسعه منابع آبی همواره چالش برانگیز بوده و با عوامل مختلف طبیعی و انسانی در هم تنیده شده است (Saatsaz & Rezaei, 2023). ادامه روند فعلی رشد جمعیت، عدم مدیریت صحیح تقاضای آب و اصلاح الگوی مصرف آب، ایران را در آینده نزدیک با بحران جدی آب مواجه خواهد کرد. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ ایران جزو کشورهای کم‌آب باشد (Pirali zefrehei et al., 2022; Pomázi, 2012). عدم تعادل بین عرضه و تقاضای منابع آب شیرین نه تنها یک تنگنای مهم برای توسعه کشاورزی است (Aivazidou & Tsolakis, 2021) بلکه عامل مهمی است که بر ثبات اکوسیستم‌های کشاورزی تاثیر می‌گذارد (Sun et al., 2022; Deng et al., 2022; Ghotbizadeh et al., 2022; Sin & Lee, 2020).

برنج حدود ۸۰ درصد از مصرف غذایی حدود نیمی از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهد (Pourgholam-Amiji et al., 2020; جمان و همکاران، ۲۰۲۰). تقاضای آن در بازار جهانی افزایش یافته و افزایش مستمر آن قابل پیش‌بینی است (Van Nguyen & Ferrero, 2006). با این حال محدودیت‌هایی برای پاسخ به تقاضای رو به رشد بازار وجود دارد که محدودیت اصلی تامین آب به دلیل در دسترس نبودن آن است و غلبه بر آن دشوار است (Adekoya et al., 2014).

ایران نیز دارای مساحت ۶۲۰ هزار هکتار شالیزار است (Morandini et al., 2020). تقریباً آبیاری در همه مناطق شالیزارهای برنج با استفاده از رژیم غرقابی انجام می‌شود که ۳ تا ۵ سانتی‌متر آب را برای فصل رشد روی خاک نگه می‌دارد (Morandini et al., 2020). آبیاری غرقابی دائمی در برنج، با راندمان بسیار پایین، بیش از نیاز واقعی آب مصرف می‌کند، بنابراین ارزیابی و استفاده از برخی اقدامات مدیریتی برای صرفه‌جویی در تولید برنج ضروری است (Kruse et al., 2018). بسیاری از مطالعات، پایداری گزینه‌های آبیاری نوآورانه، کاهش مصرف آب برای تولید برنج و اثرات منفی زیست‌محیطی آن و

گسترش کشت برنج در خارج از مناطق سنتی برنج را مورد بررسی قرار داده‌اند (Adekoya et al., 2014). آب آبیاری در حال حاضر نزدیک به ۷۰ درصد از برداشت جهانی آب شیرین (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سفره‌های زیرزمینی) را تشکیل می‌دهد (Assouline et al., 2015). در حالی که انتظار می‌رود فشار بر منابع آب شیرین جهانی با افزایش جمعیت جهانی تشدید شود (Ekins et al., 2019)، حجم پساب تصفیه‌شده موجود به‌طور پیوسته در جهان توسعه‌یافته و با سرعت در حال رشد است (Assouline et al., 2015). از آنجا که در کشاورزی حجم زیادی آب مورد نیاز است و از سویی کمبود آب به طور روز افزون احساس می‌شود، از این رو به نظر می‌رسد بخش کشاورزی به‌عنوان یکی از مصارف اصلی پساب‌ها و آب‌های برگشتی محسوب شود. از بین منابع مختلف پساب‌ها و منابع برگشتی، فاضلاب‌های خانگی به خاطر حجم زیاد و کیفیت مناسب‌تر، بعد از طی مراحل تصفیه برای مصارف کشاورزی از اولویت بیشتری برخوردار است. (Ataee Khoshnavesh et al., 2021a, b; et al., 2021).

با توجه به بحران آب، برای پر کردن شکاف بین تقاضا و عرضه آب، باید به منابع آب جایگزین مانند استفاده مجدد از فاضلاب شهری تصفیه شده برای تامین آب مورد نیاز محصولات کشاورزی و غلبه بر کمبود منابع آب شیرین تکیه کرد (Ramesh & Ostad-Ali-Askari, 2019; Saatsaz & Rezaei, 2023; Liu et al., 2023). استفاده از پساب برای آبیاری در کشاورزی در مناطقی که با تنش و کم‌آبی مواجه هستند، فشار بر منابع آبی موجود را کاهش و اجازه می‌دهد تا از منابع آب با کیفیت بالا برای استفاده های دیگر و توسعه زیرساخت های امنیتی و بهداشتی استفاده شود (Schacht & Marschner, 2015).

باید توجه داشت اگرچه استفاده از پساب برای آبیاری یک راهکار ارزشمند برای افزایش منابع آب است اما، کیفیت و شرایط این آب می‌تواند چالش‌هایی را در کشاورزی ایجاد کند. آبیاری با فاضلاب شهری می‌تواند باعث تغییراتی در ویژگی‌های خاک شود که به‌عنوان یک ماده مناسب از نظر وجود مواد مغذی موجود در آن، عمل کند و باعث بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک شود (Nicholson et al., 2018). همچنین مقایسه

مسائل مربوط به کاهش کمیت و کیفیت منابع آب و نیاز به استفاده از آب غیرمتمعارف، گزارش‌ها حاکی از آن است که استفاده از مغناطیس می‌تواند در کاهش یا تشدید اثرات پساب‌ها مؤثر باشد (Ramesh & Ostad-Ali-Askari, 2023). تغییرات ناشی از آبیاری مغناطیسی در خواص فیزیکی و شیمیایی خاک عمدتاً به‌صورت کاهش محتوای نمک خاک، افزایش محتوای آب خاک، افزایش تجزیه مواد آلی و افزایش محتوای مواد مغذی خاک ظاهر می‌شود (Zhou et al., 2021; Cui et al., 2020). نتایج بررسی اثر پساب با دو روش آبیاری قطره‌ای و شیری در مقایسه با آبیاری با آب چاه نشان داد در هر دو روش آبیاری مقدار اسیدپته خاک کاهش و مقدار شوری خاک افزایش یافت (Zounemat Kermani et al., 2014). مطالعه‌ای در غرب ایالات متحده نشان داد که آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده، هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم را در مقایسه با مناطق خاکی آبیاری شده با آب چاه افزایش داد (Qian & Mecham, 2005). از آنجایی که در حال حاضر استفاده از رژیم آبیاری غرقابی در اکثر مناطق شالیزاری با ضرورت نیازآبی بالای آن مورد استفاده قرار می‌گیرد، این تحقیق برای ارزیابی امکان استفاده از منبع آب و رژیم آبیاری جایگزین به همراه بهبود وضعیت آب یعنی بررسی تأثیر فاضلاب شهری تصفیه شده مغناطیسی به روش آبیاری زیرزمینی بر برخی ویژگیهای فیزیکی و شیمیایی خاک در اراضی تحت کشت شالیزار انجام شد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با هشت تیمار در سه تکرار در اراضی مزروعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با موقعیت جغرافیایی ۵۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شرقی و ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا به‌صورت لایسیمیتری بر روی گیاه برنج رقم طارم هاشمی انجام شد. فاکتورها و سطوح عوامل مورد بررسی در جدول ۱، ترکیبات تیماری در جدول ۲ نشان داده شده است. ترکیب تیماری آبیاری سطحی با آب معمولی غیرمغناطیس به‌عنوان شاهد در نظر گرفته شده است.

با استانداردهای موجود نشان می‌دهد که استعمال بدون مدیریت فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند باعث تخریب خاک و شور و سدیمی شدن آن در بخش وسیعی از منطقه شود (کاراندیش، ۱۳۹۳). لازم به ذکر است که استفاده از فاضلاب به‌دلیل وجود ترکیبات سمی می‌تواند خطرات جدی سلامتی و زیست‌محیطی را در پی داشته باشد (Khalid et al., 2018).

از جمله نگرانی‌های مربوط به آبیاری خاک با استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده، آسیب به کیفیت خاک و توسعه محصول (Urbano et al., 2015)، افزایش شوری، پراکندگی ذرات خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی خاک و وجود عوامل بیماری‌زا در آب که نشان‌دهنده خطر سلامت عمومی است، (Bichai et al., 2012). اثرات مثبت و منفی آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر محصولات و خاک می‌تواند بسته به کیفیت آب، میزان و مدت زمان در معرض قرار گرفتن آن‌ها بستگی داشته باشد (Baram et al., 2022; Phogat et al., 2020). برای کاهش اثرات نامطلوب هنگام استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری، باید راهکارهای مناسب دنبال شود تا اثرات منفی به‌طور قابل توجهی محدود شود (Hashem & Qi, 2021). در صورتی که بتوان کاربرد پساب را با روش‌های مناسب آبیاری در هم آمیخت، همزمان می‌توان در جهت مشکلات بهداشتی، آلودگی و بحران آب گام مهمی برداشت (Korom & Jeppson, 1994).

فناوری مغناطیس‌سازی، روش ساده‌ای است که با مصرف انرژی پایین برای تصفیه آب کارآمد است (Zhang et al., 2022; Zhu et al., 2021). فناوری مغناطیس‌سازی موجب بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری ظرفیت انتقال آب آبیاری از خاک به محصولات را بیشتر می‌کند (Wei et al., 2022). نیروی مغناطیسی می‌تواند آب معمولی را با اثرات شیمیایی به مایعی خاص تبدیل کند. به‌طوری‌که خواص فیزیکی آب مانند کشش سطحی، گرانی و چگالی تغییر می‌کند (Ramesh & Ostad-Ali-Askari, 2023; Kiani et al., 2018; Fallah, 2008). یکی از مزایای استفاده از آب مغناطیسی در کشاورزی، اصلاح خاک با کاهش استفاده از مواد شیمیایی و اسیدی و با هزینه کمتر است. علاوه بر

پساب از تصفیه‌خانه شهری واقع در قسمت شمال شرقی
 گرگان که دارای تصفیه مقدماتی، اولیه، ثانویه و ضد عفونی
 پساب است تهیه شد. ویژگی‌های شیمیایی آب و پساب

مورد استفاده در جدول ۳ و ویژگی‌های فیزیکی و
 شیمیایی خاک در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۱- فاکتورها و سطوح مورد بررسی در پژوهش

Table 1. Factors and levels investigated in the research

Factor	Levels	Abbreviation
Irrigation Method	Surface irrigation	B
	Subsurface irrigation	S
Water Types	Well water	C
	Treated waste-water	W
Magnetic treatments of water	Non-Magnetized water	O
	Magnetized water	M

جدول ۲- ترکیبات تیماری پژوهش

Table 2. Treatments

Row	Treatment	Abb
1	Subsurface irrigation with Magnetized Treated waste-water	MWS
2	Surface irrigation with Magnetized Treated waste-water	MWB
3	Subsurface irrigation with Magnetized Well water	MCS
4	Surface irrigation with Magnetized Well water	MCB
5	Subsurface irrigation with Non-Magnetized Treated waste-water	OWS
6	Surface irrigation with Non-Magnetized Treated waste-water	OWB
7	Subsurface irrigation with Non-Magnetized Well water	OCS
8	Surface irrigation with Non-Magnetized Well water	OCB

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی آب و پساب

Table 3. Chemical properties of water and waste water

Water type	EC	pH	SAR	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
	(dS m ⁻¹)		(mmol l ⁻¹) ^{0.5}			(meq l ⁻¹)	
Well water	0.58	7	0.54	0.9	2.3	3.1	0.09
Treated Waste-water	1.4	8.2	0.66	1.2	4.4	5.2	0.45

های فیزیکی و شیمیایی خاک جدول ۴- ویژگی

Table 4. Physical and chemical properties of the soil

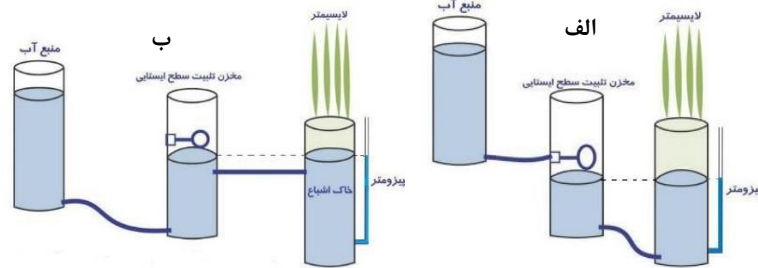
Tex.	Clay	Silt	EC	pH	SAR	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺
	(%)		(dS m ⁻¹)		(mmol l ⁻¹) ^{0.5}			(meq l ⁻¹)	
Clay loam	32	30	1.48	7.52	9.25	19	0.03	8.4	1.61

به تولید ولتاژ ۵۰ ولت و حداکثر جریان عبوری ۳۰ آمپری
 است. از آنجایی که منبع تغذیه متصل به سیم پیچ جریان
 مستقیم تولید می‌کند، میدان مغناطیس بوجود آمده نیز
 ثابت (DC) است. چگالی شار مغناطیس تولید شده در اثر
 اتصال سیم پیچ به منبع تغذیه و عبور جریان از سیم پیچ
 توسط دستگاه تسلا متر مدل HT201 (ساخت کشور
 چین)، در محل فاصله هوایی موجود بین دو هسته آهنی،
 جایی که جریان آب از آن محل می‌گذرد تا ۱۲۰۰ میلی
 تسلا اندازه گیری شد. شدت میدان مغناطیس به کمک

به منظور مغناطیس نمودن آب‌های آبیاری از دستگاه
 مولد میدان مغناطیسی DC ساخته شده در گروه
 مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه علوم کشاورزی و
 منابع طبیعی گرگان، استفاده شد. این دستگاه دارای
 ۳۰۰۰ دور سیم پیچ سیم مسی با قطر ۲ میلی‌متر با
 مقاومت کل ۸ اهم است. هسته آهنی آن یکپارچه و دارای
 قطر ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد. میدان مغناطیس بوسیله یک
 منبع تغذیه جریان مستقیم^۱ مدل HYelec (ساخت کشور
 چین) در هسته آهنی ایجاد می‌گردد. منبع تغذیه قادر

¹ Direct Current

مخزن تثبیت سطح ایستابی با کمک شناوری که به منبع آب متصل بود، در سطح مورد نظر در آبیاری سطحی (غرقابی مرسوم) در ۵ سانتی‌متری روی سطح خاک و در روش زیرزمینی در ۵ سانتی‌متری زیر سطح خاک برقرار و ثابت شد. نحوه چینش اجزای آبیاری زیرزمینی و سطحی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- چینش و اجزای: الف-آبیاری زیرزمینی و ب- آبیاری سطحی.

Figure 1. Layout and components: a. Subsurface irrigation & b. Surface irrigation.

نتایج و بحث

هدایت الکتریکی

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول (۵) نشان داد که اثر روش آبیاری (سطحی و زیرزمینی) بر هدایت الکتریکی در هر سه عمق خاک معنی‌دار نبود. اثر کیفیت آب (آب معمولی و پساب) در عمق یک در سطح ۱ درصد و در عمق سه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است اما در عمق دو خاک معنی‌دار نبود. اثر اصلاح آب (مغناتیس و غیرمغناتیس) در هر سه عمق خاک معنی‌دار نبود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب، اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب و اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب بر هدایت الکتریکی در هر سه عمق خاک معنی‌دار نبود.

تنظیم میزان ولتاژ و اعمال محدودیت حداکثر جریان عبوری از سیم پیچ قابل تنظیم می‌باشد. در این پژوهش برای شدت ۱۰۰۰ میلی‌تسلا (یک تسلا)، ۳۹ ولت و ۴/۸ آمپر به‌دست آمد. برای راه‌اندازی سیستم و ثابت نگه داشتن سطح آب، از دو مخزن (یکی به‌عنوان تثبیت‌کننده سطح ایستابی و دیگری برای اندازه‌گیری میزان آب مصرفی) استفاده شد. روش کار بدین صورت بود که لوله آبد به مخزن تثبیت سطح ایستابی متصل گردید. در

لایسمترهای مورد استفاده از جنس PVC با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر بودند. تعداد کل لایسمترها بر اساس تیمار و تکرار برابر ۲۴ عدد بود. نشاء در مرحله چهار برگی از خزانه مطمئن برنج تهیه شد. در هر لایسمتر ۹ کپه نشاء به فاصله ۱۰×۱۰ سانتی‌مترمربع کشت شد. برای استقرار کامل گیاه، تیمارها به مدت یک هفته با آب معمولی آبیاری شدند و از هفته دوم تیمارها اعمال گردید. در این پژوهش اندازه‌گیری هدایت الکتریکی با دستگاه هدایت‌سنج الکتریکی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، نسبت جذب سدیم از طریق محاسبه، منیزیم با تیتراسیون EDTA و پتاسیم با دستگاه فلیم‌فتومتر مورد سنجش قرار گرفت. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد و از آزمون‌های تی‌تست جهت مقایسه میانگین اثرات ساده و دانکن جهت مقایسه میانگین اثرات متقابل در سطح احتمال پنج درصد استفاده گردید و نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel ترسیم شد.

جدول ۵- تجزیه واریانس پارامتر هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در اعماق مختلف براساس میانگین مربعات

Table 5. Variance analysis of effect irrigation method, water types and Magnetic treatments of water on electrical conductivity and sodium adsorption ratio in different soil depths.

Source of variance	df	Mean square					
		EC			SAR		
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
Block	2	34.34*	1.37 ^{ns}	0.045 ^{ns}	13.14 ^{ns}	1.87 ^{ns}	98.05 ^{ns}
Irrigation Method (A)	1	5.91 ^{ns}	2.67 ^{ns}	2.08 ^{ns}	53.16 ^{ns}	0.599 ^{ns}	102.05 ^{ns}
Water types (B)	1	104.04**	13.47 ^{ns}	5.85*	391.39**	26.39**	144.7 ^{ns}
Magnetic treatments of water (C)	1	25.61 ^{ns}	1.16 ^{ns}	2.63 ^{ns}	7.48 ^{ns}	12.52**	177.8 ^{ns}
A×B	1	15.69 ^{ns}	2.59 ^{ns}	0.35 ^{ns}	48.56 ^{ns}	0.338 ^{ns}	143.32 ^{ns}
A×C	1	9.31 ^{ns}	0.24 ^{ns}	0.02 ^{ns}	7.02 ^{ns}	6.71**	34.2 ^{ns}
B×C	1	0.71 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.11 ^{ns}	0.01 ^{ns}	8.58**	47.74 ^{ns}
A×B×C	1	4.01 ^{ns}	0.02 ^{ns}	0.02 ^{ns}	2.72 ^{ns}	1.701 ^{ns}	97.8 ^{ns}
Error	14	5.9	0.99	1.28	26.67	0.631	97.81

ns, *, ** به ترتیب به مفهوم ریز معنی دار و معنی دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

ns, * and **: Nonsignificant and significant at %5 and %1 level of probability respectively.

است. و در عمق دو بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در عمق دو مربوط به ترکیب تیماری WB و بقیه ترکیبات تیماری در یک سطح آماری می باشند. نتایج مقایسه میانگین تاثیر اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب بر هدایت الکتریکی نشان داد که در هر سه عمق خاک بیشترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به ترکیب تیماری OW و کمترین مقدار آن در ترکیب تیماری MC می باشد.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در جداول (۶) بین آب معمولی و پساب در عمق یک و عمق دو اثر معنی داری بر هدایت الکتریکی مشاهده شد به طوری که مقدار هدایت الکتریکی در پساب نسبت به آب معمولی بیش تر بود. اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب بر هدایت الکتریکی نشان داد که بیشترین مقدار هدایت الکتریکی در عمق یک و عمق سه مربوط به ترکیب تیماری WS و کمترین مقدار آن در ترکیب تیماری CB

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر ساده و دوجانبه پارامتر نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی در اعماق مختلف خاک

Table 6. Comparison of the effect of simple and bilateral on Electrical Conductivity and Sodium Adsorption Ratio in different soil depths.

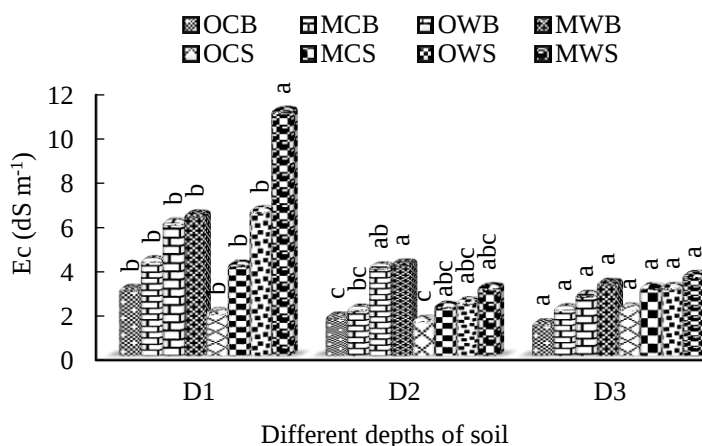
	EC (dS m ⁻¹)			SAR (mmol l ⁻¹) ^{0.5}		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
Irrigation method						
Surface irrigation (B)	5.03 a	3.11 a	2.506 a	7.166 a	1.72 a	2.38 a
Subsurface irrigation (S)	6.023 a	2.44 a	3.095 a	10.143 a	2.04 a	6.51 a
Water types						
Well water (C)	3.44 b	2.028 b	2.307 a	4.62 b	0.83 b	1.988 a
Treated waste-water (W)	7.61 a	3.53 a	3.294 a	12.69 a	2.93 a	6.899 a
Magnetic treatments of water						
Magnetized water (M)	4.49 a	2.557 a	2.47 a	8.096 a	2.605 a	1.722 a
Non-Magnetized water (O)	6.56 a	2.998 a	3.132 a	9.213 a	1.161 b	7.166 a
Irrigation method× Water types						
CB	3.76 b	2.033 b	1.89 b	4.55 b	0.795 b	2.37 a
WB	6.30 ab	4.19 a	3.12 ab	9.71 b	2.65 a	2.39 a
CS	3.32 b	2.02 b	2.73 ab	4.68 b	0.87 b	1.61 a
WS	8.91 a	2.86 b	3.47 a	15.6 a	3.21 a	11.4 a
Irrigation method× Magnetic treatments of water						
MB	4.62 a	3.99 a	2.20 a	6.07 a	1.92 ab	0.853 a
OB	5.44 a	3.23 a	2.81 a	8.27 a	1.53 ab	3.91 a
MS	4.37 a	2.12 a	2.74 a	10.13 a	3.29 a	2.59 a
OS	7.68 a	2.76 a	3.45 a	10.16 a	079 b	10.49 a
Water types× Magnetic treatments of water						

MC	2.58 c	1.78 c	1.91 b	4.037 b	0.958 b	0.677 a
OC	4.31 bc	2.28 bc	2.71 ab	5.19 b	0.71 b	3.3 a
MW	6.41 ab	3.33 ab	3.03 ab	12.15 a	4.25 a	2.77 a
OW	8.82 a	3.71 a	3.56 a	13.23 a	1.61 b	11.03 a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

تیماری *MWB* و کم‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در ترکیبات تیماری *OCS* و *OCB* می‌باشد (شکل ۲). در اعماق مختلف خاک، میانگین مقدار هدایت الکتریکی همه ترکیبات تیماری به جز *OCB* در عمق سه، در مقایسه با مقدار اولیه آن در محلول خاک افزایش یافته است.

از طرفی نتایج مقایسه میانگین تاثیر اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر هدایت الکتریکی نشان داد که بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری *MWS* است و بقیه ترکیبات تیماری در یک سطح آماری قرار دارند، در عمق دو بیش‌ترین مقدار هدایت الکتریکی مربوط به ترکیب



شکل ۲- مقایسه میانگین تاثیر روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر هدایت الکتریکی اعماق مختلف خاک با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد.

Figure 2. Comparison of the effect of irrigation water, water types and Magnetic treatments of water on electrical conductivity in different soil depths with Duncans test at the 5% level.

کردند. امین‌دین (Amindin, 2013) نشان داد تیمارهای آبیاری شده با فاضلاب تصفیه‌شده دارای افزایش مقدار هدایت الکتریکی نسبت به آب چاه در خاک بود اما این تغییرات معنی‌دار نبوده است. لذا این گونه به نظر می‌رسید که در نتیجه استفاده از پساب تصفیه‌شده، شوری خاک افزایش خواهد یافت و در این صورت نیاز است تا جهت کنترل شوری در زمین‌هایی که به‌طور مداوم از این آب جهت آبیاری استفاده می‌نمایند، با توجه به نوع محصول و آستانه تحمل آن به شوری، آبشویی صورت گیرد و مقدار آبشویی مورد نیاز نیز بسته به سیستم آبیاری و درصد مجاز کاهش محصول به سادگی قابل محاسبه است. قربانی مینائی و چوپان (Ghorbani-Minaei & Choopan, 2022) بیان کردند اگرچه استفاده از پساب فاضلاب شهری باعث افزایش شوری در خاک نسبت به آب چاه شده است ولی این مقدار در حد قابل متعارف

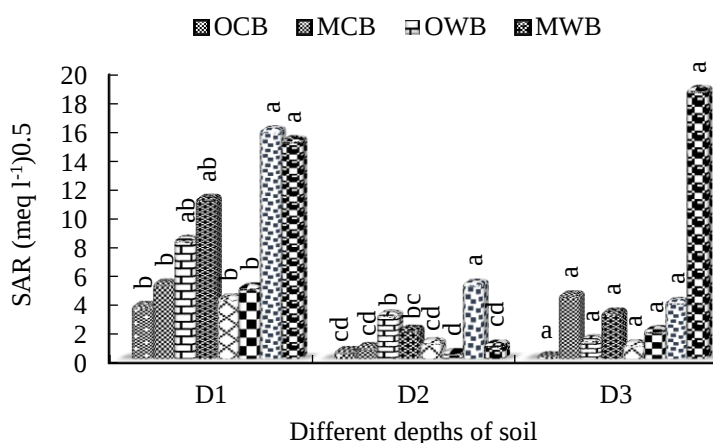
نتایج تحقیقات رضاپور و همکاران (Rezapour *et al.*, 2012) و ابراهیمی‌زاده و همکاران (Ebrahimizadeh *et al.*, 2007) نیز بیانگر آن است که بر اثر آبیاری با پساب در مقایسه با آب متعارف، هدایت الکتریکی خاک افزایش قابل توجهی داشته اما نتایج تحقیقات خدادادی و همکاران (Khodadadi *et al.*, 2015)، کریم‌زاده و همکاران (Karimzadeh *et al.*, 2013) کاهش هدایت الکتریکی اشباع خاک را گزارش کردند. حیدرپور و همکاران (Heidarpour *et al.*, 2007) افزایش هدایت الکتریکی در اثر استفاده از آبیاری زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی را گزارش نمودند. مصطفی‌زاده‌فرد و همکاران (Mostafazadeh-Fard *et al.*, 2012) و خوش‌روش و همکاران (Khoshraives *et al.*, 2021b) نیز کاهش مقدار هدایت الکتریکی خاک در آبیاری با آب مغناطیسی در مقایسه با آب غیرمغناطیسی را گزارش

شد به طوری که مقدار آن در غیرمغناطیس نسبت به مغناطیس بیش تر بود. اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب نشان داد که بیشترین مقدار در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری WS و در عمق دو مربوط به ترکیبات تیماری WB و WS می باشد و بقیه ترکیبات تیماری در هر دو عمق ذکر شده در یک سطح آماری قرار دارند. نتایج اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب نشان داد که در عمق دو خاک بیشترین مقدار مربوط به ترکیب تیماری MS و کمترین مقدار آن در ترکیب تیماری OS می باشد. نتایج اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب نشان داد که در عمق یک خاک بیشترین مقدار مربوط به ترکیبات تیماری OW و MW و در عمق دو بیشترین مقدار مربوط به ترکیب تیماری MW می باشد و بقیه پارامترها در هر دو عمق در یک سطح آماری قرار دارند. از طرفی نتایج مقایسه میانگین تاثیر اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب نشان داد که بیشترین مقدار نسبت جذبی سدیم در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری MWS و OWS و کمترین مقدار در ترکیبات تیماری MCS، MCB، OCS و OCB می باشد، در عمق دو بیشترین مقدار مربوط به ترکیب تیماری OWS و کمترین مقدار در ترکیب تیماری MCS می باشد (شکل ۳). در اعماق مختلف خاک، میانگین مقدار نسبت جذبی سدیم همه ترکیبات تیماری در مقایسه با مقدار اولیه آن در محلول خاک کاهش یافته است.

بوده و مانعی برای کشاورزی ندارد. احتمالا تغییرات شوری تیمارهای پساب نسبت به تیمار شاهد، به دلیل وجود املاح و مواد معدنی در این نوع منابع باشد یا ویژگی های ذاتی خاک سبب این تغییر گردد.

نسبت جذب سدیم

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول (۵) نشان داد که اثر روش آبیاری بر نسبت جذب سدیم در هر سه عمق خاک، اثر کیفیت آب در عمق یک و عمق دو در سطح در سطح ۱ درصد معنی دار و در عمق سه خاک معنی دار نبود و اثر اصلاح آب در عمق یک و عمق سه خاک معنی دار نبود اما در عمق دو در سطح ۱ درصد معنی دار شده است. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب در هر سه عمق و اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب بر نسبت جذبی سدیم در عمق یک و عمق سه خاک معنی دار نبود اما در عمق دو در سطح ۱ درصد معنی دار شده است. اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب در عمق یک و عمق سه خاک معنی دار نبود اما در عمق دو در سطح ۱ درصد معنی دار شده است. اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب در هر سه عمق خاک معنی دار نبود. با توجه به نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در جدول (۶) بین آب معمولی و پساب در عمق یک و عمق دو اثر معنی داری مشاهده شد به طوری که مقدار آن در پساب نسبت به آب معمولی بیش تر و بین مغناطیس و غیرمغناطیس شده در عمق دو اثر معنی داری مشاهده



شکل ۳- مقایسه میانگین تاثیر روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر نسبت جذب سدیم اعماق مختلف خاک با آزمون دانکن در سطح ۵ درصد.

Figure 3. Comparison of the effect of irrigation water, water types and Magnetic treatments of water on sodium adsorption ratio in different soil depths with Duncans test at the 5% level.

می‌دهد چرا که یکی از عوامل مهم در تغییر وضعیت کیفی خاک‌ها و گرایش زمین‌ها به شوری، سدیمی و قلیایی شدن است (Amindin, 2013).

پتاسیم

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول (۷) نشان داد که اثر روش آبیاری بر پتاسیم در عمق یک و عمق سه خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است اما در عمق دو معنی‌دار نبود. اثر کیفیت آب در عمق یک و عمق سه خاک معنی‌دار نبود اما در عمق دو در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. اثر اصلاح آب در عمق یک در سطح ۱ درصد معنی‌دار شده است اما در عمق دو و عمق سه معنی‌دار نبود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب در عمق یک و عمق دو معنی‌دار نبود اما در عمق سه در سطح ۵ درصد معنی‌دار شده است. اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب، اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب و همچنین اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب در هر سه عمق خاک معنی‌دار نبود.

نتایج تحقیقات قربانی مینائی و چوپان (Ghorbani- Minaei & Choopan, 2022)، امین‌دین (Amindin, 2013) و ابراهیمی‌زاده و همکاران (Ebrahimizadeh et al., 2007) بیانگر آن است که بر اثر آبیاری با پساب در مقایسه با آب متعارف، نسبت جذب سدیم خاک افزایش قابل توجهی داشته‌است. نسبت جذب سدیم به‌عنوان یک شاخص موثر در ارزیابی خطر بالقوه سدیم در محلول در حال تعادل با فاز جامد خاک است. و امکان هم‌اور شدن یا پراکنش ذرات در خاک رس را نشان می‌دهد. به‌طور کلی می‌توان گفت که، هرچه نسبت جذب سدیم بالاتر باشد، آن آب برای آبیاری کمتر مناسب برای آبیاری است. آبیاری با استفاده از آب با نسبت جذب سدیم بالا، منجر به اصلاح خاک را در درازمدت ایجاد می‌شود (Ghorbani- Minaei & Choopan, 2022). باید توجه داشت در نتیجه استفاده از پساب تصفیه‌شده در مدت کوتاه و مقدار محدود، در لایه سطحی خاک مقدار سدیم قابل جذب خاک افزایش یافته است و این افزایش در طولانی مدت و استفاده مداوم از این نوع آب آبیاری خاک را سدیمی کرده و شرایط فیزیکی و حاصلخیزی آن را تحت تأثیر قرار

جدول ۷- تجزیه واریانس پارامتر پتاسیم و منیزیم در اعماق مختلف براساس میانگین مربعات

Table 7. Variance analysis of effect irrigation method, water types and Magnetic treatments of water on potassium and magnesium in different soil depths.

Source of variance	df	Mean square					
		K ⁺			Mg ²⁺		
		D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
Block	2	0.066*	0.007 ^{ns}	0.017 ^{ns}	6.03 ^{ns}	1.59 ^{ns}	10.9 ^{ns}
Irrigation Method (A)	1	0.099*	0.016 ^{ns}	0.038*	47.3 ^{ns}	67.4**	35.23*
Water types (B)	1	0.06 ^{ns}	0.131*	0.025 ^{ns}	18.2 ^{ns}	7.21 ^{ns}	5.96 ^{ns}
Magnetic treatments of water (C)	1	0.2**	0.033 ^{ns}	0.01 ^{ns}	0.92 ^{ns}	2.19 ^{ns}	14.8 ^{ns}
A×B	1	0.01 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.038*	0.42 ^{ns}	8.32 ^{ns}	15.6 ^{ns}
A×C	1	0.009 ^{ns}	0.006 ^{ns}	0.034 ^{ns}	0.09 ^{ns}	1.97 ^{ns}	37.35*
B×C	1	0.001 ^{ns}	0.035 ^{ns}	0.013 ^{ns}	51.86*	0.02 ^{ns}	0.09 ^{ns}
A×B×C	1	0.003 ^{ns}	0.014 ^{ns}	0.018 ^{ns}	14.8 ^{ns}	4.11 ^{ns}	26.7 ^{ns}
Error	14	0.014	0.017	0.008	7.25	5.99	6.59

ns, *, ** به ترتیب به مفهوم ریز معنی‌دار و معنی‌دار در سطح ۵٪ و ۱٪ است.

ns, * and **: Nonsignificant and significant at %5 and %1 level of probability respectively.

غیرمغناطیس شده در عمق یک اثر معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که پساب مغناطیس نسبت به پساب غیرمغناطیس، در سطح احتمال ۵ درصد به‌طور معنی‌داری بیش‌تر بود.

اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب نشان داد که بیش‌ترین غلظت پتاسیم در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری WB و در عمق دو مربوط به ترکیبات تیماری WB

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در جداول (۸) بین آبیاری سطحی و زیرزمینی در عمق یک اثر معنی‌داری بر پتاسیم مشاهده شد به‌طوری‌که مقدار آن در آبیاری سطحی نسبت به آبیاری زیرزمینی بیش‌تر بود. بین آب معمولی و پساب در عمق دو اثر معنی‌داری مشاهده شد به‌طوری‌که غلظت آن در پساب نسبت به آب معمولی بیش‌تر بود. بین پساب مغناطیس و پساب

قرار می‌گیرند، در عمق سه بیش‌ترین غلظت مربوط به ترکیب تیماری OS و کم‌ترین غلظت در ترکیبات تیماری MB و OB می‌باشد. نتایج اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب نشان داد در عمق یک و دو بیش‌ترین غلظت مربوط به ترکیب تیماری OW است و کم‌ترین غلظت آن در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری MC و در عمق دو مربوط به ترکیبات تیماری MC و OC است.

و WS است و کم‌ترین غلظت آن در هر دو عمق یک و عمق دو مربوط به ترکیب تیماری CS می‌باشد، در عمق سه بیش‌ترین غلظت مربوط به ترکیب تیماری WS بوده و بقیه ترکیبات در یک سطح آماری قرار می‌گیرند. اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب نشان داد که در عمق یک بیش‌ترین غلظت پتاسیم مربوط به ترکیب تیماری OB است و بقیه ترکیبات تیماری در یک سطح آماری

جدول ۸- مقایسه میانگین اثر ساده و دوجانبه پارامتر پتاسیم و منیزیم در اعماق مختلف خاک

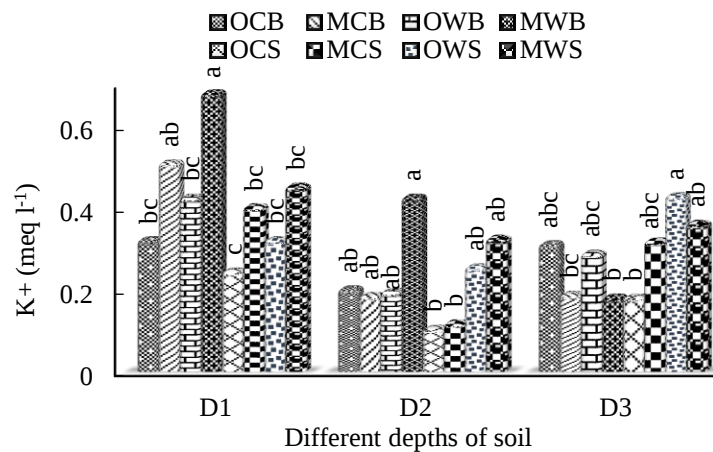
Table 8. Comparison of the effect of simple and bilateral on potassium and magnesium in different soil depths.

	K ⁺ (meq l ⁻¹)			Mg ²⁺ (meq l ⁻¹)		
	D ₁	D ₂	D ₃	D ₁	D ₂	D ₃
Irrigation method						
Surface irrigation (B)	0.485 a	0.253 a	0.244 a	9.05 a	9.409 a	9.62 a
Subsurface irrigation (S)	0.357 b	0.203 a	0.324 a	6.24 b	6.058 b	7.194 b
Water types						
Well water (C)	0.37 a	0.154 b	0.252 a	6.77 a	7.18 a	7.908 a
Treated waste-water (W)	0.47 a	0.302 a	0.317 a	8.5 a	8.28 a	8.904 a
Magnetic treatments of water						
Magnetized water (M)	0.33 b	0.191 a	0.304 a	7.45 a	8.035 a	9.193 a
Non-Magnetized water (O)	0.51 a	0.265 a	0.264 a	7.84 a	7.431 a	7.619 a
Irrigation method× Water types						
CB	0.417 ab	0.195 ab	0.252 b	8.31 ab	8.272 ab	9.927 a
WB	0.553 a	0.312 a	0.237 b	9.78 a	10.545 a	9.308 a
CS	0.325 b	0.113 b	0.252 b	5.24 b	6.098 a	5.88 a
WS	0.388 ab	0.292 a	0.397 a	7.24 ab	6.017 b	8.5 a
Irrigation method× Magnetic treatments of water						
MB	0.375 b	0.2 a	0.302 b	8.79 a	9.99 a	11.65 a
OB	0.595 a	0.307 a	0.187 b	9.31 a	8.82 ab	7.58 b
MS	0.285 b	0.182 a	0.307 ab	6.1 a	6.073 b	6.73 b
OS	0.428 b	0.22 a	0.342 a	6.37 a	6.042 b	7.56 b
Water types× Magnetic treatments of water						
MC	0.285 c	0.155 b	0.248 a	8.048 a	7.46 a	8.75 a
OC	0.457 ab	0.153 b	0.255 a	5.5 a	6.91 a	7.06 a
MW	0.375 bc	0.227 ab	0.36 a	6.85 a	8.61 a	9.63 a
OW	0.567 a	0.377 a	0.273 a	10.18 a	7.952 a	8.178 a

میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

MCS و در عمق سه مربوط به ترکیبات تیماری OCS و MWB می‌باشد (شکل ۴). در اعماق مختلف خاک بین ترکیبات تیماری به جز عمق یک ترکیبات تیماری MCB، MWS و MWB، میانگین غلظت پتاسیم در مقایسه با مقدار اولیه آن در محلول خاک کاهش یافته است.

از طرفی نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر پتاسیم نشان داد که بیش‌ترین غلظت پتاسیم در عمق یک و عمق دو مربوط به ترکیب تیماری MWB و در عمق سه مربوط به ترکیب تیماری OWS است و کم‌ترین غلظت عمق یک در ترکیب تیماری OCS، در عمق دو مربوط به ترکیبات تیماری OCS و



شکل ۴- مقایسه میانگین تاثیر روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر پتاسیم اعماق مختلف خاک

Figure 4. Comparison of the effect of irrigation water, water types and Magnetic treatments of water on potassium

شد به طوری که مقدار آن در آبیاری سطحی نسبت به آبیاری زیرزمینی بیش تر بود. اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب بر منیزیم نشان داد که بیشترین غلظت آن در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری WB و کمترین آن در ترکیب تیماری CS می‌باشد، در عمق دو بیشترین غلظت مربوط به ترکیب تیماری WB و CS و کمترین آن در ترکیب تیماری WS است. نتایج اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب نشان داد که در عمق دو و سه بیشترین غلظت مربوط به ترکیب تیماری MB است و کمترین غلظت در عمق دو مربوط به ترکیب تیماری OS و MS است. و در عمق سه سایر ترکیبات تیماری در یک سطح آماری می‌باشند.

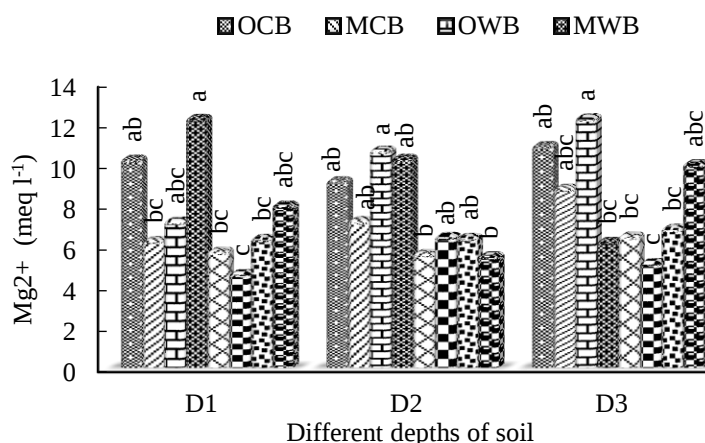
از طرفی نتایج مقایسه میانگین تاثیر اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر سختی نشان داد که بیشترین غلظت منیزیم در عمق یک مربوط به ترکیب تیماری MWB و در عمق دو و سه مربوط به ترکیب تیماری OWB می‌باشد و کمترین غلظت منیزیم عمق یک و سه در ترکیب تیماری MCS و در عمق دو در ترکیبات تیماری OCS و MWS می‌باشد (شکل ۵). در اعماق مختلف خاک، میانگین غلظت منیزیم در تمامی ترکیبات تیماری در مقایسه با مقدار اولیه آن در محلول خاک افزایش یافته است.

رضاپور و همکاران (Rezapour *et al.*, 2012) افزایش پتاسیم را در اثر استفاده طولانی مدت آبیاری با پساب در مناطق نیمه خشک گزارش کردند که با نتایج امین‌دین (Amindin, 2013) همخوانی دارد. نتایج پژوهش لطفی و قائمی (۱۳۸۴) در بررسی تأثیر مدیریتی کیفیت متفاوت آب آبیاری، پساب تصفیه شده و کود نیتروژن بر ویژگی‌های شیمیایی خاک در کشت کلم بروکلی در آبیاری میکرو نشان داد که غلظت نیتروژن، ۵۱ درصد، فسفر ۱۵/۸ درصد و پتاسیم ۱۰۰ درصد در اثر استفاده از پساب افزایش یافت.

منیزیم

نتایج تجزیه واریانس ارائه شده در جدول (۷) نشان داد که اثر روش آبیاری بر منیزیم در عمق یک معنی دار نبود و در عمق دو و عمق سه خاک در سطح ۱ درصد معنی دار شده است. اثر کیفیت آب و اثر اصلاح آب در هر سه عمق خاک معنی دار نبود. همچنین نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل روش آبیاری و کیفیت آب در هر سه عمق خاک معنی دار نبود. اثر متقابل روش آبیاری و اصلاح آب در عمق یک و عمق دو معنی دار نشد اما در عمق سه در سطح ۵ درصد معنی دار شده است. اثر متقابل کیفیت آب و اصلاح آب در عمق یک در سطح ۵ درصد معنی دار شده است اما در عمق دو و عمق سه معنی دار نشد. همچنین اثر متقابل روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب در هر سه عمق خاک معنی دار نبود.

با توجه به نتایج مقایسه میانگین ارائه شده در جدول (۸) بین هر یک از روش‌های آبیاری زیرزمینی و سطحی در هر سه عمق خاک اثر معنی داری بر منیزیم مشاهده



شکل ۵- مقایسه میانگین تاثیر روش آبیاری، کیفیت آب و اصلاح آب بر منیزیم اعماق مختلف خاک

Figure 5. Comparison of the effect of irrigation water, water types and Magnetic treatments of water on magnesium

عمق یک و کمترین مقدار هدایت الکتریکی در عمق دو است. آبیاری زیرزمینی با پساب مغناطیس (MWS) دارای بیشترین مقدار نسبت جذب سدیم و هدایت الکتریکی در عمق یک (به دلیل صعود کاپیلار) و کاهش منیزیم در عمق دو گردید. آبیاری سطحی با پساب مغناطیس (MWB) دارای بیشترین غلظت منیزیم در عمق یک، غلظت پتاسیم در عمق یک و دو و کمترین غلظت پتاسیم در عمق سه است. بنابراین در مجموع می‌توان گفت، که آبیاری با پساب مغناطیس در روش آبیاری سطحی برنج به خاطر کاهش اثرات مضر تجمع عناصر در سطح خاک توصیه می‌گردد. بعبارت دیگر، از آنجا که فرایند مغناطیس‌سازی پساب مورد استفاده در این تحقیق، روند دفع املاح خاک را تسریع نموده است و از تجمع املاحی که ممکن است به مرور زمان در فصلهای کشت آبی باعث کاهش محصول گردد، جلوگیری نموده است، لذا به نظر می‌رسد، در شرایطی که ناگزیر به استفاده از پساب تصفیه خانه هستیم، استفاده از روش اصلاحی مغناطیس نمودن برای دوری از آثار منفی استفاده از پساب، راهگشا باشد.

خوش‌روش و همکاران (Khoshraives *et al.*, 2021b) و امین‌دین (Amindin, 2013) اظهار داشتند بیشترین غلظت منیزیم در خاک‌های آبیاری شده با پساب در مقایسه با آب چاه بوده است که می‌تواند به دلیل بالاتر بودن غلظت این عنصر در پساب در مقایسه با آب معمولی باشد. حیدرپور و همکاران (Heidarpour *et al.*, 2007) افزایش منیزیم در اثر استفاده از آبیاری زیرسطحی نسبت به آبیاری سطحی را گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج نشان داد ترکیب تیماری آبیاری سطحی با آب معمولی غیرمغناطیس (OCB) دارای کمترین مقدار نسبت جذب سدیم در عمق یک و کمترین مقدار هدایت الکتریکی در عمق دو است. آبیاری زیرزمینی با آب معمولی غیرمغناطیس (OCS) دارای کمترین مقدار نسبت جذب سدیم در عمق یک، کمترین مقدار هدایت الکتریکی و منیزیم در عمق دو و کمترین غلظت پتاسیم در هر سه عمق است. نتایج بررسی خاک حاکی از آن است شاهد دارای کمترین مقدار نسبت جذب سدیم در

References

- Abedi M.J., and Najafi P. 2001. Wastewater Treatment and Use in Agriculture. FAO irrigation and drainage paper NO. 47. Translate by Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). 270 p. (In Persian)
- Adekoya M.A., Liu Z., and Vered E. 2014. Agronomic and ecological evaluation on growing water-saving and drought-resistant rice (*Oryza sativa* L.) through drip irrigation.
- Agoro M.A., Adeniji A.O., Adefisoye M.A., and Okoh O.O. 2020. Heavy metals in wastewater and sewage sludge from selected municipal treatment plants in Eastern Cape Province, South Africa. *Water*, 12(10): 2746.

- Aivazidou E., and Tsolakis N. 2021. Investigating dynamic interconnections between organic farming adoption and freshwater sustainability. *Journal of Environmental Management*, 294: 112896.
- Amindin A. 2013. The use of urban treated wastewater in drip irrigation and its effect on the physical, chemical and biological properties of the soil. Dissertation for obtaining a master's degree in irrigation and drainage, Shiraz University. (In Persian)
- Assouline S., Russo D., Silber A. Or D. 2015. Balancing water scarcity and quality for sustainable irrigated agriculture. *Water Resources Research*, 51(5): 3419–3436.
- Ataee A., Ebrahimi N., Asadi H., Gorji M. 2021. Organic Pollutants of Sewage Sludge, Fate in Soil and their Analytical Methods. *Iranian Journal of soil and water research*, 52(2): 577-595 (In Persian).
- Baram S., Weinstein M., Evans J.F., Berezkin A., Sade Y., Ben-Hur M., Bernstein N., Mamane H. 2022. Drip irrigation with nanobubble oxygenated treated wastewater improves soil aeration. *Scientia Horticulturae*, 291: 110550.
- Ben Amor H., Elaoud A., Ben Hassen H., Ben Salah N., Masmoudi A., and Elmoueddeb K. 2020. Characteristic study of some parameters of soil irrigated by magnetized waters. *Arabian Journal of Geosciences*, 13: 1-11.
- Ben Hassen H. Hozayn M. Elaoud A. and Attia Abdd El-monem A. 2020b. Inference of magnetized water impact on salt-stressed wheat. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 45: 4517-4529.
- Ben Hassen H., Elaoud A., and Masmoudi K. 2020a. Modeling of agricultural soil compaction using discrete Bayesian networks. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17: 2571-2582.
- Bichai F., Polo-López M.I., Ibañez P.F. 2012. Solar disinfection of wastewater to reduce contamination of lettuce crops by *Escherichia coli* in reclaimed water irrigation. *Water research*, 46(18): 6040–6050.
- Carracelas G., Hornbuckle J., Rosas J., and Roel A. 2019. Irrigation management strategies to increase water productivity in *Oryza sativa* (rice) in Uruguay. *Agricultural water management*, 222: 161-172.
- Choopan Y., Emami S., Hesam M. 2018. Study the Effect of Irrigation with Industrial Wastewater on Soil Chemical Properties (Case Study: Torbat-Heydarieh). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12 (4): 862-871. (In Persian)
- Cui H., Liu X., Jing R., Zhang M., Wang L., Zheng L., and Ma F. 2020. Irrigation with Magnetized Water Affects the Soil Microenvironment and Fruit Quality of Eggplants in a Covered Vegetable Production System in Shouguang City, China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 20: 2684-2697.
- Deng L., Chen K., Liu Z., Wu B., Chen Z., and He S. 2022. Spatiotemporal variation evaluation of water quality in middle and lower Han River, China. *Scientific Reports*, 12(1): 1-14.
- Djaman K., Mel V., Boye A., Diop L., Manneh B., El-Namaky R., and Futakuchi K. 2020. Rice genotype and fertilizer management for improving rice productivity under saline soil conditions. *Paddy and Water Environment*, 18: 43-57.
- Ebrahimizadeh M.A., Hassan Lee. A.M., Ahmadi Rad. Sh. 2007. Minimal environmental effects of urban sewage effluent on soil in corn cultivation. Proceedings of the first specialized conference on environmental engineering, Tehran. (In Persian)
- Ekins P., Gupta J., and Boileau P. 2019. Global Environment Outlook–GEO-6: healthy planet, healthy people.
- Elaoud A., Hassen H.B., Salah N.B., Masmoudi A., Chehaibi S. 2017. Modeling of soil penetration resistance using multiple linear regression (MLR). *Arabian Journal of Geosciences*, 10: 1-8.
- Fallah S. 2008. Magnetic irrigation and its applications.
- Gasmi I., Aljoumani B., Sánchez-Espigares J.A., Mechergui M., and Moussa M. 2019. A linear mixed effect (LME) model for soil nutrients and soil salinity changes based on two localized irrigation techniques (drip irrigation and buried diffuser). *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 1-12.

- Ghorbani-Minaei L., and Choopan Y. 2022. Investigating the Chemical Reaction of Soil to Treated Sewage Effluent. The third national conference on low irrigation and unconventional water use in agriculture in dry areas. (In Persian)
- Ghotbizadeh M., Cuss C.W., Grant-Weaver I., Markov A., Noernberg T., Ulrich A., and Shotyk W. 2022. Spatiotemporal variations of total and dissolved trace elements and their distributions amongst major colloidal forms along and across the lower Athabasca River. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 40: 101029.
- Hashem M.S., and Qi X. 2021. Treated wastewater irrigation—A review. *Water*, 13(11): 1527.
- Heidarpour M., Mostafazadeh-Fard B., Koupai, J.A., and Malekian R. 2007. The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods. *Agricultural water management*, 90(1-2): 87-94.
- Hussain G., & Al-Saati A.J. (1999). Wastewater quality and its reuse in agriculture in Saudi Arabia. *Desalination*, 123(2-3): 241-251.
- Karandish F. 2015. Analyzing the Geostatistical Methods in Spatial Monitoring of Saline and Sodic Condition of Soils under Treated-Wastewater Irrigation. *Applied Soil Research*, 2(1): 115-128. (In Persian)
- Karimzadeh M., Alizadeh A., Mohammady Arya M. 2013. Effect of Irrigation with Waste Water on Soil Saturated Hydraulic Conductivity. *Journal of Water and Soil*, 26(3): 1547-1553 (In Persian).
- Khalid S., Shahid M., Natasha Bibi I., Sarwar T., Shah A.H., and Niazi N.K. 2018. A review of environmental contamination and health risk assessment of wastewater use for crop irrigation with a focus on low and high-income countries. *International journal of environmental research and public health*, 15(5): 895.
- Khodadadi N., Ghorbani Dashtaki Sh., Kiani Sh. 2015. The effects of quality of irrigation water on selected soil physical properties in rice cultivation lands (*Oryza Sativa*). *Journal of water and soil resources conversation*, 4 (3): 15-28. (In Persian)
- Khoshravesh M., Erfanian F., Pourgholam-Amiji M. 2021a. Effect of Irrigation with Treated Magnetic Effluent on Yield and Yield Components of Maize. *Journal of Water Management in Agriculture*, 8 (1): 115-128. (In Persian)
- Khoshravesh M., Hosseini S. M., & Pourgholam-Amiji M. 2021b. The Effect of Irrigation with Magnetically Treated Effluent on Chemical Properties and Soil Heavy Metals. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(8): 2191-2203 (In Persian)
- Kiani A.R., Khushrosh M., Mostafazadeh B., Mousavi S.F. 2017. Use of magnetic irrigation method to improve water and soil and reduce water crisis. The first international conference on water crisis. (In Persian)
- Korom S.F., and Jeppson R.W. 1994. Nutrient leaching from alfalfa irrigation with municipal wastewater. *Journal of Environmental Engineering*. 120(5): 1067-1081.
- Kruse E., Eslamian S., Ostad-Ali-Askari K., and Hosseini-Teshnizi S.Z. 2018. Borehole Investigations. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*; Springer: Cham, Switzerland.
- Liu B., Wang S., Kong X., Liu X., and Sun H. 2019. Modeling and assessing feasibility of long-term brackish water irrigation in vertically homogeneous and heterogeneous cultivated lowland in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 211: 98-110.
- Morandini N.P., Petroudi E.R., Mobasser H.R., and Dastan S. 2020. Life cycle assessment of crop rotation systems on rice cultivars in Northern Iran. *International Journal of Plant Production*, 14: 531-548.
- Mostafazadeh-Fard B., Khoshravesh M., Mousavi S.F. and Kiani A.R. 2012. Effects of magnetized water on soil chemical components underneath trickle irrigation. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 138(12): 1075-1081.
- Nicholson F., Bhogal A., Taylor M., McGrath S., and Withers P. 2018. Long-term effects of biosolids on soil quality and fertility. *Soil Science*, 183(3): 89-98.
- Phogat V., Mallants D., Cox J.W., Šimůnek J., Oliver D.P., Pitt T., Petrie P.R. 2020. Impact of long-term recycled water irrigation on crop yield and soil chemical properties. *Agricultural Water Management*, 237: 106167.
- Pirali zefrehei A.R., Kolahi M., and Fisher J. 2022. Ecological-environmental challenges and restoration of aquatic ecosystems of the Middle-Eastern. *Scientific Reports*, 12(1): 17229.

- Pomázi I. 2012. OECD Environmental Outlook to 2050. The Consequences of Inaction. *Hungarian Geographical Bulletin*, 61(4): 343-345.
- Pourgholam-Amiji M., Liaghat A., Ghameshlou A., Khoshravesh M., and Waqas M.M. 2020. Investigation of the yield and yield components of rice in shallow water table and saline. *Big Data in Agriculture (BDA)*, 2(1): 36-40.
- Pourgholam-Amiji M., Liaghat A., Khoshravesh M., and Azamathulla H.M. 2021. Improving rice water productivity using alternative irrigation (case study: North of Iran). *Water Supply*, 21(3): 1216-1227.
- Qian Y.L., and Mecham B. 2005. Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways. *Agronomy Journal*, 97(3): 717-721.
- Ramesh A., and Ostad-Ali-Askari K. 2023. Effects of magnetized municipal effluent on some physical properties of soil in furrow irrigation. *Applied Water Science*, 13(1): 26.
- Rezapour S., Samadi A., and Khodaverdiloo H. 2012. Impact of long-term wastewater irrigation on variability of soil attributes along a landscape in semi-arid region of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 67: 1713-1723.
- Saatsaz M., and Rezaei A. 2023. The technology, management, and culture of water in ancient Iran from prehistoric times to the Islamic Golden Age. *Humanities and Social Sciences Communications*, 10(1): 1-22.
- Schacht K., and Marschner B. 2015. Treated wastewater irrigation effects on soil hydraulic conductivity and aggregate stability of loamy soils in Israel. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(1): 47-54.
- Sin Y., and Lee H. 2020. Changes in hydrology, water quality, and algal blooms in a freshwater system impounded with engineered structures in a temperate monsoon river estuary. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32: 100744.
- Sun Y., Wang C., Mi W., Qu Z., Mu W., Wang J., ... and Wang Q. 2022. Effects of Irrigation Using Activated Brackish Water on the Bacterial Community Structure of Rhizosphere Soil. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22(4): 4008-4023.
- Turki N., Elaoud A., Gabtni H., Trabelsi I., and Khalfallah K.K. 2019. Agricultural soil characterization using 2D electrical resistivity tomography (ERT) after direct and intermittent digestate application. *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 1-11.
- Urbano V.R., Mendonça T.G., Bastos R.G., and Souza C.F. 2015. Physical-chemical effects of irrigation with treated wastewater on Dusky Red Latosol soil. *Revista Ambiente and Água*, 10: 737-747.
- Van Nguyen N., and Ferrero A. 2006. Meeting the challenges of global rice production. *Paddy and Water Environment*, 4: 1-9.
- Wei K., Zhang J., Wang Q., Guo Y., & Mu W. 2022. Irrigation with ionized brackish water affects cotton yield and water use efficiency. *Industrial Crops and Products*, 175: 114244.
- Zhang J., Wang Q., Wei K., Guo Y., Mu W., and Sun Y. 2022. Magnetic Water Treatment: An eco-friendly irrigation alternative to alleviate salt stress of brackish water in seed germination and early seedling growth of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Plants*, 11(11): 1397.
- Zhou B., Yang L., Chen X., Ye S., Peng Y., and Liang C. 2021. Effect of magnetic water irrigation on the improvement of salinized soil and cotton growth in Xinjiang. *Agricultural Water Management*, 248: 106784.
- Zhu M., Wang Q., Sun Y., and Zhang J. 2021. Effects of oxygenated brackish water on germination and growth characteristics of wheat. *Agricultural Water Management*, 245: 106520.
- Zounemat Kermani M., Asadi R., Bay Y.M., Mirzazanjani P. 2014. Effects of Using Wastewater Irrigation on the Chemical Characteristics of Soil Under Furrow and Drip Irrigation Methods. *Environmental Sciences*, 12 (4): 81- 90. (In Persian)