

Investigating the Effect of Water Management on the Salinity Distribution Pattern of the Root Zone in Trickle Irrigation

Javad Ramezani Moghadam^{1*}, Javanshir Azizi Mobaser², Mohammad Reza Kohan³

(Received: August 2024 Accepted: December 2024)

Abstract

One of the main problems on agricultural land in Iran is the salinity of the soil. Among the most important factors affecting this problem are the amount and salinity of irrigation water, the amount and method of irrigation, and cultivation methods. The control of salinity at the depth of the soil, and in different parts of the farm is of great importance. This study was conducted in Ardabil district to investigate the salinity distribution pattern of drip irrigation under humidity limits deficit irrigation conditions for pinto beans (Sadri variety), using a completely randomized block design (CRD) with three replicates. Irrigation treatments included water amounts applied at three levels: 100%, 85% and 70% of crop water requirements (designated I1, I2, and I3, respectively). The distribution of soil salinity was studied at different depths (three depths) and distances from the dripper (three distances) across the three irrigation levels with three replicates in four soil sampling sessions during the growing season. The results showed that the effects of different irrigation levels on 1000-seed weight, grain yield, and plant biomass were significant at 5% and 1% levels, respectively. Specifically, with the increase in irrigation from I3 to I1, biomass, and plant seeds increased by 51.2% and 46.8%, respectively. In addition, the study found that the salinity of the saturated soil extract decreased by up to 50% in most irrigation treatments at a depth of 0-20 cm. Furthermore, soil salinity decreased throughout the growing season, while it increased with distance from the dripper axis.

Key words: ECe, Drip Irrigation, Deficit Irrigation Management, Pinto Beans.

Ramezani Moghadam J., Azizi Mobaser J and Kohan M.R. 2025. Investigating the Effect of Water Management on the Salinity Distribution Pattern of the Root Zone in Trickle Irrigation. *Applied Soil Research*, 13(2): 104-119.

1. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili

2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili

3. PhD student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and natural resources, University of Mohaghegh Ardabili

* Corresponding Author Email: j_ramezani@uma.ac.ir

بررسی تأثیر مدیریت آب بر الگوی توزیع شوری ناحیه ریشه در آبیاری قطره‌ای

جواد رمضانی مقدم^{۱*}، جوانشیر عزیزی مبصر^۲، محمدرضا کهن^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۶)

چکیده

یکی از مشکلات اصلی در اراضی کشاورزی ایران، شوری خاک است. از مهم‌ترین عوامل موثر بر این مسئله مقدار و شوری آب آبیاری، روش آبیاری و نحوه مدیریت مزرعه می‌باشند. بررسی شوری در اعماق خاک و نقاط مختلف مزرعه از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. این مطالعه در شهرستان اردبیل و به منظور بررسی الگوی توزیع شوری در آبیاری قطره‌ای تحت حدود رطوبتی کم آبیاری برای کشت لوبیا چیتی (رقم صدری) در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادف (CRD) در سه تکرار انجام شد. تیمارهای مورد بررسی، مقادیر آب آبیاری بودند که در سه سطح ۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب I₁، I₂ و I₃) اعمال شدند. در این تحقیق، بررسی توزیع شوری خاک در اعماق (سه عمق) و فواصل مختلف نسبت به قطره چکان (سه فاصله) در سه سطح آبیاری و با سه تکرار در چهار نوبت نمونه‌برداری از خاک مزرعه در طول فصل کشت انجام شد. نتایج بررسی‌های این تحقیق نشان داد اثر مقادیر مختلف آبیاری بر روی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیست توده گیاه به ترتیب در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار بود. همچنین با افزایش آب مصرفی از I₃ به I₁ مقادیر عملکرد زیست توده و دانه گیاهی به ترتیب ۵۱/۲ و ۴۶/۸ درصد افزایش یافت. از طرفی بر اساس نتایج این پژوهش، میزان شوری عصاره اشباع خاک در اکثر تیمارهای آبیاری در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر دارای روند کاهشی بوده که این کاهش تا ۵۰ درصد هم مشاهده شد. همچنین میزان شوری خاک در طول فصل کشت دارای روندی کاهشی بود که با افزایش فاصله از محور قطره چکان میزان شوری آن افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: عصاره اشباع خاک، آبیاری قطره‌ای، مدیریت کم آبیاری و لوبیا چیتی

رمضانی مقدم ج.، عزیزی مبصر ج.، کهن م. ۱۴۰۴. بررسی تأثیر مدیریت آب بر الگوی توزیع شوری ناحیه ریشه در آبیاری قطره‌ای. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۳، شماره ۲. صفحه: ۱۰۴-۱۱۹.

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی (مکاتبه کننده)

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

* پست الکترونیک: j_ramezani@uma.ac.ir

مقدمه

افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون به مواد غذایی، به یکی از مهم‌ترین چالش‌های قرن حاضر تبدیل شده است. این مسئله از جهات مختلفی جوامع بشری را دچار مشکل می‌کند. از یک سو، مدیریت و تولید محصولات کشاورزی متناسب با جمعیت رو به رشد، امری دشوار است (Fróna *et al.*, 2019). از سوی دیگر، مواجهه با محدودیت‌های کمی و کیفی در منابع آب و خاک، این چالش را تشدید می‌کند (Hejazi *et al.*, 2023). در سال‌های اخیر، کاهش نزولات جوی و خشک‌سالی‌های متوالی باعث کاهش سطح آبخوان‌ها به عنوان یکی از منابع اصلی تأمین آب کشاورزی شده است (Gazor Habibabadi & Derakhshan, 2023). همچنین استفاده بیش از حد از سموم و کودهای شیمیایی، شور شدن اراضی کشاورزی و کاهش کیفیت آب‌های زیرزمینی را در پی داشته است (Srivastav, 2020). بخش کشاورزی با بیش‌ترین حجم مصرف آب نسبت به بخش‌های صنعت و شرب، بیش‌ترین حجم تلفات را نیز به خود اختصاص داده است (Zand-Parsa *et al.*, 2024). در این راستا، افزایش بهره‌وری مصرف آب^۱ (WP) راهکاری برای مدیریت منابع آب است. یکی از عوامل مهم جهت افزایش WP، کاهش میزان مصرف آب در تولید محصول است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد، استفاده از روش‌های نوین آبیاری از جمله آبیاری قطره‌ای، با توجه به بهبود مدیریت آبیاری در مزرعه، WP را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهد (Seidan & Kadami Firouzabadi, 2020). آبیاری به روش قطره‌ای نسبت به سایر روش‌های آبیاری تحت فشار از کمترین میزان نفوذ عمقی و رواناب سطحی برخوردار بوده و در حالت آبیاری با آب شور نسبت به آبیاری بارانی، از صدمه زدن به برگ و کاهش عملکرد محصول جلوگیری می‌کند (Yang *et al.*, 2023). در این خصوص، کم آبیاری یکی از روش‌های پیشنهاد شده توسط محققین جهت افزایش بهره‌وری مصرف آب است که در سیستم‌های آبیاری قطره‌ای به خوبی قابل اجرا می‌باشد (Sperandio *et al.*, 2022). در این خصوص رجیبی و همکاران (Rajabi *et al.*, 2021) طی پژوهشی اثر کم آبیاری را بر روی گیاه گندم در چهار سناریو تأمین ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی بررسی کردند. نتایج بدست آمده نشان داد بیشینه عملکرد،

در تیمار آبیاری کامل و در حالت کم آبیاری با کاهش ۱۵ درصدی آب مصرفی، بهره‌وری آب بیشینه می‌شود. با این حال یکی از مشکلات عمده این سیستم نسبت به آبیاری سنتی تجمع املاح در نیمرخ خاک، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک است. به طوریکه امکان شور شدن تدریجی خاک حتی در حالت کیفیت خوب آب آبیاری نیز امکان پذیر است. در این خصوص، طبق پژوهش انجام شده توسط عبدالواحد و همکاران (Abd El-Wahed *et al.*, 2020) تأثیر مقادیر آبیاری بر شوری نیمرخ خاک در سه تیمار ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه (سیب زمینی) مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج بدست آمده تیمار آبیاری ۶۰ درصد، بیش‌ترین تجمع نمک در پروفیل خاک را نسبت به سایر تیمارهای آبیاری به خود اختصاص داد. همچنین مقادیر کم نزولات جوی، تبخیر زیاد و عدم آبیاری سبب تجمع املاح در نیمرخ خاک می‌شود. شوری در گیاهان زراعی ضمن تأثیر منفی بر عملکرد، بسیاری از فرآیندهای دخیل در رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین بررسی اثر شوری خاک بر عملکرد گیاه و نحوه توزیع شوری در خاک می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد (Jahanbazi *et al.*, 2024 & Valinejad *et al.*, 2024). در همین راستا دره‌کی و همکاران (Doraki *et al.*, 2018) به منظور بررسی تأثیر شوری بر عملکرد گیاه نخود رقم آزاد، آزمایشاتی را انجام دادند. بر اساس نتایج بدست آمده، شوری تأثیر منفی بر ارتفاع بوته، تعداد برگ، سطح برگ، تعداد غلاف و وزن خشک نخود داشت. در نتیجه نویسندگان، اعمال مدیریت ویژه در خاک‌های شور را ضروری عنوان کردند. همچنین علی‌محمدی و یزدان‌پناه (Alimohamadi & Yazdanpanah, 2021) پژوهشی را با هدف بررسی اثر آبیاری با سطوح مختلف شوری بر ویژگی‌های رویشی و فیزیولوژیکی ارقام مختلف خیار، پاسخ متفاوتی به تنش شوری دارند. با این حال شوری اثر معنی‌داری بر کاهش آهنگ رشد و ارتفاع گیاه، محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی و ریزش برگ داشت. با توجه به عدم امکان کنترل بر عوامل جوی (بارش و تبخیر) و همچنین کیفیت آب آبیاری، اعمال آبیاری به عنوان یک راه‌کار اساسی در جهت کاهش تأثیرات شوری به شمار می‌رود. با اعمال آبیاری، بخشی از املاح و نمک تجمع یافته در سطح خاک به لایه‌های پایین و به

¹ Water Productivity

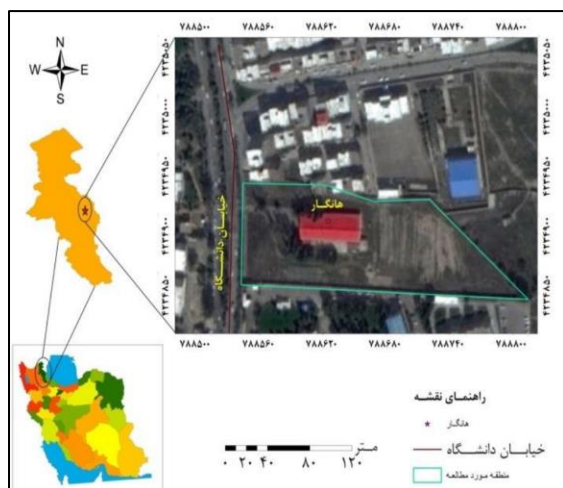
تحت روش‌های آبیاری بیان شده اندازه‌گیری شد. طبق نتایج بدست آمده، تأثیر روش‌های آبیاری و فواصل از درخت بر شوری خاک در سطح یک درصد معنی‌دار شد، به طوری که با افزایش فاصله از ردیف درختان، شوری خاک نیز افزایش یافت. همچنین نتایج مقایسه شوری خاک در عمق‌های مختلف تحت روش‌های آبیاری مورد مطالعه نشان داد اختلاف معنی‌داری در عمق‌های مختلف وجود ندارد و مقدار شوری خاک تنها در عمق ۶۰ سانتی‌متری خاک اندکی نسبت به عمق‌های دیگر خاک کاهش یافت، که احتمالاً علت آن کاهش تأثیر عمق آبیاری و حرکت معکوس املاح به سطح خاک در نتیجه تبخیر می‌باشد.

با توجه به مطالب بیان شده، لزوم مدیریت صحیح شوری خاک در اراضی زراعی، بخصوص در شرایط کم آبیاری و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به دلیل آبیاری موضعی و کاهش رطوبت اهمیت بیشتری دارد. بنابراین در این پژوهش تأثیر کم آبیاری و استفاده از سامانه آبیاری قطره‌ای بر نحوه توزیع شوری در پروفیل خاک و فواصل مختلف قطره چکان مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

مشخصات مکان مورد مطالعه

پژوهش حاضر در ایستگاه تحقیقاتی دانشگاه محقق اردبیلی (شهرستان اردبیل) انجام شد (شکل ۱). شهرستان اردبیل واقع در ارتفاع ۱۳۵۰ متر از سطح دریا، با مختصات ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه شمالی و ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه شرقی می‌باشد.



شکل ۱- محل انجام تحقیق

Figure 1. Research location

ناحیه خارج از دسترس ریشه گیاهان منتقل می‌شود. در همین راستا، مدیریت صحیح آبیاری، نیازمند اطلاعات جامع و دقیق در زمینه مقدار و الگوی توزیع شوری خاک در منطقه توسعه ریشه است (Du et al., 2023). در مطالعه‌ای دیگر خوش‌سیما و نوری (Noori & Khoshsima, 2019) به بررسی تأثیر شوری آب آبیاری بر نحوه توزیع نمک در نیمرخ خاک (برای گیاه ذرت) در سیستم آبیاری قطره‌ای، پرداختند. تیمارهای این تحقیق شامل سه سطح شوری آب آبیاری (۳، ۵ و ۷ دسی‌زیمنس بر متر) و لایه‌های مختلف خاک (عمق‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ سانتی‌متر) بودند. همچنین شوری خاک در فواصل ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متری از خطوط آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد میزان شوری و سدیم خاک با شوری آب آبیاری رابطه مستقیم و با عمق خاک رابطه عکس دارد. بر این اساس بیش‌ترین تجمع نمک مربوط به فاصله ۱۰ سانتی‌متری از خط آبیاری و در سطح خاک مشاهده شد. وانگ و همکاران (Wang et al., 2023) مطالعه‌ای جهت بررسی اثرات آبیاری قطره‌ای بر شوری خاک و عملکرد محصول برای تعیین استراتژی‌های مدیریتی مناسب، در یک سامانه آبیاری قطره‌ای در زمین‌های شور-قلیایی انجام دادند. در این پژوهش تیمارهای آبیاری شامل؛ آبیاری غرقابی (۹۰۰ میلی‌متر)، آبیاری قطره‌ای با حجم کم (۳۶۰ میلی‌متر)، آبیاری قطره‌ای با حجم متوسط (۴۵۰ میلی‌متر) و آبیاری قطره‌ای با حجم زیاد (۵۴۰ میلی‌متر) بودند. بر اساس نتایج این مطالعه، توزیع عمودی رطوبت خاک در آبیاری قطره‌ای بیش‌تر از آبیاری غرقابی بود. همچنین شوری خاک در مرکز قطره چکان‌ها کاهش یافته و به تدریج به سمت پایین انتقال پیدا کرد. نرخ نمک‌زدایی در آبیاری قطره‌ای با حجم کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۱۸/۴۶٪، ۲۰/۸۴٪ و ۲۲/۹۴٪ بود، در حالی که نرخ نمک‌زدایی در حالت غرقابی تنها ۵/۳۲٪ بدست آمد و سرعت نمک‌زدایی در آن کندتر بوده و توزیع نمک نیز غیریکنواخت بود. اکبری و قاسمی (Akbari & Ghasemi, 2024) اثرات روش‌های آبیاری سطحی، بابلر و قطره‌ای را بر توزیع شوری خاک تحت کشت درختان پسته مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش، شوری خاک در چهار فاصله (۵/۰، ۱۰/۰، ۲۰/۰ و ۳۰/۵ متر) از ردیف درختان و چهار عمق (۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۹۰ و ۹۰-۱۲۰ سانتی‌متر) از سطح خاک

سرعت باد و رطوبت نسبی در بازه زمانی مورد مطالعه (اردیبهشت تا آبان ماه)، به ترتیب ۶/۵ (متر بر ثانیه) و ۶۸ درصد به دست آمد (جدول ۱).

طبق آمار ۳۱ ساله هواشناسی اخذ شده از ایستگاه سینوپتیک اردبیل میانگین بارندگی سالانه ۲۸۰/۹۰ میلی متر در سال است. همچنین مقادیر میانگین ۳۱ ساله کمینه و بیشینه دما برابر ۵/۲ و ۱۸/۳ (درجه سلسیوس)،

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی بلندمدت مربوط به ایستگاه سینوپتیک اردبیل

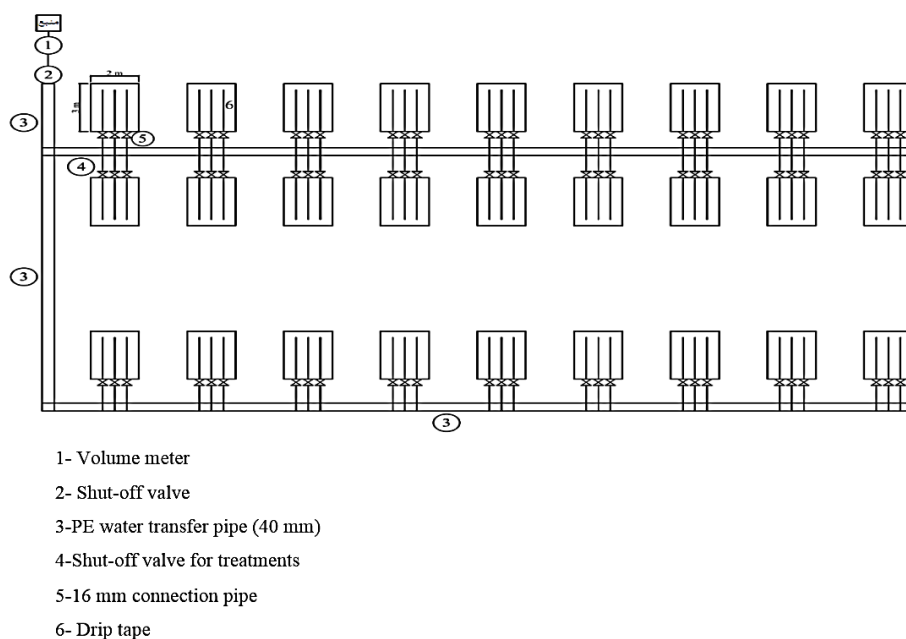
Table 1. Long-term meteorological parameters related to Ardabil synoptic station

Month	Average Min Temperature (C ⁰)	Average max Temperature (C ⁰)	Rainfall (mm)	Wind speed (m/s)	RH (%)
May	-5.9	5.1	2.63	6.32	72
Jun.	-1.7	10	2.91	6.7	70
Jul.	4.4	17	3.48	6.8	66
Aug.	8.1	21	4.03	6.3	69
Sept.	10.7	24.2	1.81	6.4	67
Oct.	12.2	25.6	0.32	7	66.1
Nov.	10.8	25	0.85	6.6	66

روش تحقیق

در این پژوهش گیاه لوبیا چیتی (رقم صدری) که از کشت‌های مرسوم در منطقه است، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور آبیاری، از سامانه آبیاری قطره‌ای (نوارتیپ) با قطر اسمی ۱۶ میلی متر با آبدهی ۲/۲ لیتر بر

ساعت در هر متر طول لوله تیپ استفاده شد. جهت بررسی اثر مدیریت‌های مختلف آبیاری بر مقادیر شوری در پروفیل خاک از سه تیمار آبیاری (۱۰۰، ۸۵ و ۷۰ درصد نیاز آبی گیاه) استفاده شد که به صورت شماتیک در شکل ۲ قابل مشاهده است.



شکل ۲- شمای کلی طرح آزمایشی در مزرعه تحقیقاتی

Figure 2. Overview of the experimental design in the research farm

زمانی ۴۰، ۷۰ و ۱۰۰ روز بعد از عمل کشت (یک هفته بعد از آخرین آبیاری) از اعماق مختلف خاک (۰-۲۰، ۲۰-۴۰

این پژوهش در قالب طرح کاملاً تصادفی (CRD) در سه تکرار انجام شد. داده‌برداری‌ها در ابتدای کشت و در فواصل

تیمار نیز از طریق رابطه ۲ محاسبه شد که با استفاده از کنترلر حجمی اندازه‌گیری و با توجه به مقادیر مورد نیاز مربوط به هر تیمار، در اختیار گیاه قرار گرفت (Jafari et al., 2019).

$$V_{gi} = \frac{d_n \times A}{E_a} \quad (2)$$

که در این رابطه A سطح تحت کشت هر تیمار (مترمربع)، V_{gi} حجم ناخالص آب آبیاری برای هر تیمار (لیتر) و E_a راندمان کاربرد آب می‌باشد که مقدار آن در این پژوهش ۹۰٪ اندازه‌گیری شد.

نحوه انجام عملیات کشت

به منظور محاسبه کمبود مواد معدنی خاک، قبل از شروع کشت از خاک منطقه ریشه نمونه‌برداری و بر اساس نتایج آزمون حاصلخیزی خاک، مقدار کمبود تعیین و به خاک افزوده شد. بر این اساس مقادیر فسفر مورد نیاز (بشکل آمونیوم فسفات) قبل از کاشت گیاه و نیتروژن (بشکل اوره) در زمان‌های چهار برگه شدن و شروع گلدهی گیاه (شکل ۳) به خاک افزوده شد.



شکل ۳- نمایی از مزرعه در مرحله چهاربرگی لوبیاچیتی

Figure 3. A view of the field in the four-leaf stage of pinto beans

سانتی‌متر انجام شد. در تاریخ ۲۰ اردیبهشت عملیات کاشت به‌صورت دستی و به تعداد دو بذر در دو طرف نوارهای تیپ در عمق ۱۲ سانتی‌متری خاک انجام شد. از طرفی به‌منظور

و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر) در فواصل صفر، ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر از محور قطره چکان انجام شد. در این پژوهش علاوه بر بررسی عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی، تأثیر مدیریت کم آبیاری، فاصله از قطره‌چکان و اعماق مختلف خاک بر مقادیر و الگوی توزیع شوری خاک مورد بررسی قرار گرفت. جهت تحلیل آماری داده‌ها نیز، از نرم افزار آماری MSTATC 2.10 و به منظور رسم خطوط تراز و نمودارها از نرم‌افزار Surfer10 و Excel استفاده شد.

تعیین حجم آب آبیاری

مقادیر عمق آب آبیاری با استفاده از نمونه‌برداری از خاک و مقایسه رطوبت خاک با رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی مطابق معادله ۱ محاسبه شد (Jafari et al., 2019).

$$d_n = (\theta_{mfc} - \theta_{mi}) \times Z \times \rho_b \quad (1)$$

که در آن d_n عمق خالص آب آبیاری (سانتی‌متر)، θ_{mfc} رطوبت جرمی خاک در حالت ظرفیت مزرعه (گرم بر گرم)، θ_{mi} رطوبت جرمی اولیه خاک (گرم بر گرم)، Z عمق

ریشه (سانتی‌متر) و ρ_b چگالی ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) می‌باشد. همچنین حجم آب مورد نیاز هر

جهت آماده سازی زمین، مزرعه در اواخر فروردین ماه شخم زده شد. سپس لوله‌ها و تجهیزات نصب شد. در مرحله بعد عملیات کاشت لوبیا چیتی (رقم بومی) با فواصل ۱۰

از اندازه‌گیری شوری خاک (با روش عصا ره اشباع خاک)، تحلیل‌های آماری و بررسی توزیع شوری در پروفیل خاک انجام شد.

نتایج و بحث

خصوصیات آب و خاک مورد مطالعه

جهت مدیریت بهینه خاک‌های زراعی، حفظ حاصل‌خیزی خاک و تولید پایدار، بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. نتایج تجزیه شیمیایی و فیزیکی خاک مورد مطالعه در اعماق مختلف در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد مطالعه

Table 1. The results of physical, and chemical analysis of the studied farm soil

Depth (cm)	$\theta_m(\%)$		soil pattern	bulk density (gr cm ⁻³)	pH	ECe (dS m ⁻¹)
	θ_{fc}	θ_{pwp}				
0-20	24.2	13.5	Clay loam	1.26	7.54	4.06
20-40	22.9	12.27	Sandy loam	1.28	7.58	3.51
40-60	22.9	12.27	Sandy loam	1.31	7.61	3.05

شد. همچنین مقادیر شوری خاک در عمق ۰-۶۰ سانتی‌متری بین ۳/۰۵ تا ۴/۰۶ دسی‌زیمنس بر متر به دست آمد و با افزایش عمق، مقدار آن کاهش یافت. با توجه به این که تجزیه آب در حوزه کشاورزی یکی از مهم‌ترین گام‌های موفقیت برای هر نوع کشت و در هر محیط کشاورزی است، بنابراین خصوصیات شیمیایی آب مورد استفاده جهت آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- خصوصیات شیمیایی آب آبیاری

Table 2. Chemical properties of irrigation water

pH	EC	K ⁺	Na ⁺	Cl ⁻	So ₄ ⁻²	Ca ⁺² -Mg ⁺²	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻²
	dS m ⁻¹					meq l ⁻¹		
6.91	0.712	0.049	4.26	0.75	1.033	3.4	5.5	0

تحلیل آماری

مدیریت کم‌آبیاری در مزرعه به معنای اعمال عملیاتی تنش خشکی به گیاه است تا بهره‌وری بیشتری از واحد حجم آب به دست آید و عملکرد محصولات کشاورزی به حداکثر برسد. در جدول ۴ تجزیه واریانس صفات مورد بررسی تحت مقادیر مختلف آبیاری ارائه شده است.

جلوگیری از اعمال تنش شدید به گیاه در ابتدای رشد، پنج آبیاری اول به صورت کامل انجام شد و بعد از چهار برگی شدن بوته‌ها (۱۳ خرداد)، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. پس از اتمام دوره کشت و برداشت محصول، داده‌های مورد نظر اندازه‌گیری و شاخص‌ها محاسبه شدند. شاخص‌های مورد بررسی شامل وزن خشک گیاه، وزن هزار دانه، ارتفاع گیاه، عملکرد زیست توده گیاهی، عملکرد محصول و بهره‌وری آب (WP) (نسبت وزن خشک محصول به مقدار آب داده شده) بود. همچنین کلیه نمونه‌های خاک برای اندازه‌گیری میزان شوری به آزمایشگاه منتقل و پس

همان‌طور که در جدول ۲ نیز قابل مشاهده است بافت خاک مورد مطالعه در لایه سطحی (۰-۲۰ سانتی‌متر) لومی رسی و بافت خاک لایه‌های زیرین ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر، لومی شنی به دست آمد. همچنین مقادیر رطوبت جرمی در حدود رطوبتی ظرفیت مزرعه و پژمردگی به ترتیب ۲۲/۹ و ۱۲/۲۷ درصد بود. از طرفی جرم مخصوص ظاهری خاک در محدوده ۱/۲۶ تا ۱/۳۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب اندازه‌گیری

بر اساس نتایج جدول ۳، اسیدیته آب آبیاری برابر ۶/۹۱ و قابلیت هدایت الکتریکی آن ۰/۷۱۲ دسی‌زیمنس بر متر بود که طبق طبقه‌بندی فائو بیانگر کیفیت مطلوب آب بوده و بیش‌تر عناصر معدنی مورد بررسی در وضعیت کیفی قابل قبولی بودند.

جدول ۴- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

Table 3. Variance analysis of investigated traits

Sources of variation	Dry plant weight	Plant height	Weight of 100 grains	Biomass performance	Grain performance	WP
repetition	4133 ^{ns}	65/15 ^{ns}	62.8 ^{ns}	3.93 ^{ns}	0.001 ^{ns}	0.009 ^{ns}
Irrigation	22726 ^{ns}	76.9 ^{ns}	50.51 [*]	2.61 ^{**}	0.671 ^{**}	0.119 ^{ns}
error	15170 ^{ns}	14.76 ^{ns}	8.07 ^{ns}	0.68 ^{ns}	0.099 ^{ns}	0.060 ^{ns}

* معنی‌داری در سطح پنج درصد. ** معنی‌داری در سطح یک درصد. ns بدون تأثیر معنی‌دار.

جدول ۵، مقادیر صفات اندازه‌گیری شده و شاخص‌های به‌دست آمده تحت تأثیر مقادیر مختلف آبیاری ارایه شده است.

بر اساس نتایج بدست آمده اثر مقادیر مختلف آبیاری بر روی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیست توده گیاه لوبیا چیتی به‌ترتیب در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار و بر روی سایر صفات و شاخص‌ها معنی‌دار نبود. همچنین در

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر آبیاری برای صفات مورد بررسی

Table 4. Comparison of the average effect of irrigation for the investigated traits

Treatment	Dry plant weight (gr)	Plant height (cm)	Weight of 1000 grains (gr)	Biomass performance (Ton ha ⁻¹)	Grain performance (Ton ha ⁻¹)	WP
I ₁	416.17	28.63	379	2.075	1.221	0.88
I ₂	399.74	29.67	337.8	1.636	0.984	0.832
I ₃	379.07	27.04	310	1.012	0.649	0.66

منجر به کاهش سطح برگ می‌شود. با کاهش سطح برگ، فتوسنتز و فعالیت آنزیم‌های گیاهی کاهش یافته و در نتیجه وزن دانه‌ها نیز کاهش می‌یابد (Esmaily *et al.*, 2024). نتایج پژوهش بیات و همکاران (Bayat *et al.*, 2010) نیز مؤید نتایج تحقیق حاضر بود، به طوری که بر اساس نتایج مطالعات آن‌ها، اثر مقادیر مختلف آبیاری بر عملکرد دانه، زیست توده، وزن هزار دانه و تعداد غلاف در بوته در سطح یک درصد معنی‌دار بود و با کاهش مقدار آب آبیاری، مقادیر صفات بیان شده کاهش یافت. همچنین تأثیر کم آبیاری بر رشد و عملکرد گیاه ذرت در مطالعه دهقانی احمدآبادی و همکاران (Dehghani Ahmadabadi *et al.*, 2021) معنی‌دار عنوان شد. به طوری که با کاهش مقدار آبیاری وزن زیست توده کاهش پیدا کرد. در ادامه اثرات متقابل مقدار آب آبیاری (I)، عمق خاک (H) و فاصله از محور قطره‌چکان (D) به صورت دو به دو بر روی میزان شوری عصاره اشباع خاک مورد بررسی گرفت (جدول ۶).

با توجه به جدول ۵ مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقادیر وزن هزار دانه به ترتیب مربوط به I₁ (۳۷۹ گرم) و I₃ (۳۱۰ گرم) بود که دارای اختلاف معنی‌دار در سطح پنج درصد بودند. از طرفی میزان عملکرد زیست توده و دانه در تیمار ۷۰ درصد آبیاری نسبت به آبیاری ۱۰۰ درصد به ترتیب ۵۱/۲ و ۴۶/۸ درصد کاهش را نشان داد، که این امر ممکن است به دلیل تأثیر تنش کم آبی بر گیاه لوبیا چیتی بوده باشد. در سایر صفات نیز با کاهش میزان آب آبیاری، روند نزولی مقادیر صفات مشاهده شد که البته این روند معنی دار نبود. احتمالاً کاهش وزن خشک زیست‌توده گیاهی در شرایط کم‌آبیاری ناشی از کاهش تعداد و سطح برگ‌ها، قطر ساقه و ارتفاع بوته است. به‌عکس، تأمین آب کافی در شرایط آبیاری کامل، فعالیت برگ‌ها و فتوسنتز را افزایش داده و در نتیجه وزن خشک زیست‌توده گیاه افزایش می‌یابد. اعمال تنش خشکی باعث از دست رفتن آب در سلول‌های گیاهی شده و رشد کافی سلول‌ها را مختل می‌کند که این امر نهایتاً

جدول ۶. تأثیرات متقابل و جداگانه مقدار آب آبیاری (I)، عمق خاک (H) و فاصله از محور قطره چکان (D) به صورت دو به دو بر میزان شوری خاک

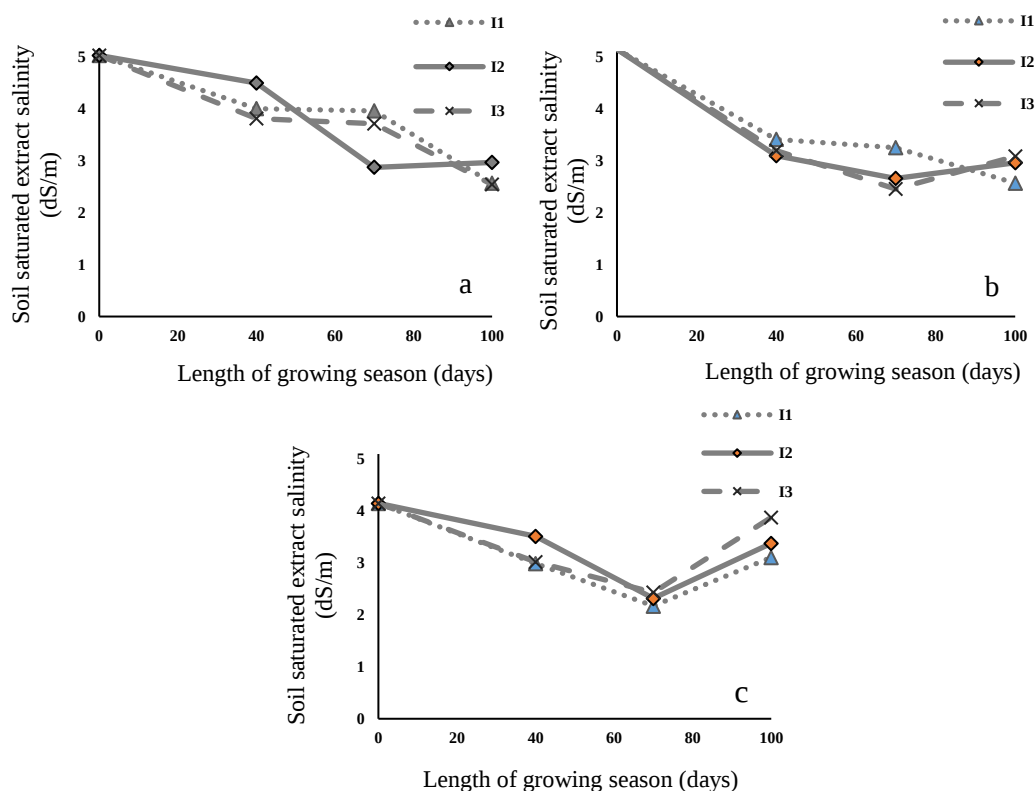
Table 6. Mutual and separate effects of the amount of irrigation water (I), soil depth (H), and distance from the dripper axis (D) in pairs on soil salinity

Sources of variation	Saltiness	Sources of variation	Saltiness	Weight of 1000 grains (gr)	Saltiness
Repetition	0.014	repetition	0.011	repetition	0.011
I	0.478**	I	0.459*	D	1.933**
D	1.979**	H	1.43**	H	1.427**
I×D	0.459**	I×H	0.196 ^{ns}	D×H	0.0119 ^{ns}
Error	0.052	error	0.074	error	0.077
CV	7.61	CV	9.03	CV	9.2

* معنی داری در سطح پنج درصد. ** معنی داری در سطح یک درصد. ^{ns} بدون تأثیر معنی دار.

شوری خاک بین سه تیمار وجود نداشت. به طوری که بیشترین تفاوت تیمار I_2 با دو تیمار دیگر (I_1 و I_3) در روزهای ۴۰ و ۷۰ فصل کشت به ترتیب حدود ۱۲٪ افزایش و ۲۱٪ کاهش بود. همچنین مقدار شوری در انتهای فصل کشت در تیمارهای مختلف آبیاری بین ۲/۶ تا ۲/۹ دسی‌زیمنس بر متر متغیر بود که نشان‌دهنده تغییرات کم شوری بود. به‌طور کلی روند کاهش شوری خاک در همه تیمارهای آبیاری در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری خاک مشاهده شد شکل ۴ (a)، به طوری که مقدار شوری از ۵ دسی‌زیمنس بر متر به حدود ۲/۶ تا ۲/۹ دسی‌زیمنس بر متر کاهش یافت (کاهش ۴۰ تا ۵۰ درصدی میزان شوری خاک). در این مورد مقدار کم شوری آب آبیاری (۰/۷۱۲ دسی‌زیمنس بر متر) می‌تواند یکی از دلایل اصلی کاهش مقادیر شوری خاک در طول فصل کشت باشد. مطالعات حیدری‌نیا و همکاران (Heidarinia et al., 2016) نیز نشان داد شوری خاک در ماه اول در لایه سطحی ۰-۳۰ سانتی‌متری خاک روند کاهشی داشته است که دلیل آن را عمق زیاد آب استفاده شده در آبیاری‌های ابتدایی در کشت ذرت دانه‌ای بهاره بیان کردند. روند تغییرات شوری خاک در طول فصل کشت برای تیمارهای مختلف آبیاری در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متر در شکل ۴ (b) قابل مشاهده است. به‌طور کلی روند تغییرات شوری، مشابه نیمرخ ۰-۲۰ سانتی‌متری بوده و روند کاهشی داشت. روند تغییرات شوری عصاره اشباع در طول فصل کشت در عمق ۴۰-۶۰ سانتی‌متری خاک در شکل ۴ (c) ارائه شده است.

نتایج بدست آمده نشان داد، اثر جداگانه و متقابل مقادیر آب آبیاری و فاصله از محور قطره چکان بر میزان شوری عصاره اشباع خاک در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است. هم چنین اثر جداگانه آب آبیاری و عمق خاک بر میزان شوری عصاره اشباع خاک به ترتیب در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار بود، اگرچه اثرات متقابل این دو پارامتر معنی‌دار نبود. از طرفی اثرات جداگانه عمق خاک و فاصله از محور قطره چکان در یک سطح آبیاری مشخص بر میزان شوری عصاره اشباع در سطح یک درصد معنی‌دار بود ولی اثرات متقابل این دو پارامتر معنی‌دار نبود. در این خصوص نتایج تحقیقات عبدالواحد و همکاران (Abd El-Wahed et al., 2020) نیز تأثیر معنی‌دار مقادیر آبیاری بر شوری خاک را تأیید می‌کند. همچنین بر اساس تحقیقات چراغی و دهقانی سانج (Cheraghi & Dehghanisanij, 2017) شوری خاک با فواصل محور قطره چکان و عمق خاک دارای یک ارتباط معنی‌دار است. طبق نتایج این پژوهش شوری خاک با افزایش فاصله افقی و عمودی نسبت به محور قطره چکان به چندین برابر شوری خاک در حاشیه سطح خیس شده افزایش می‌یابد. در ادامه به بررسی نحوه و روند تغییرات شوری در اعماق خاک و فواصل نسبت به محور قطره چکان پرداخته شده است. در شکل ۴، روند تغییرات شوری خاک در طول فصل کشت برای سطوح مختلف آب آبیاری ارائه شده است. همانطور که در شکل ۴ (a) قابل مشاهده است، با وجود تفاوت اندک شوری در برخی از مقاطع فصل کشت در تیمار I_2 تفاوتی در روند تغییرات

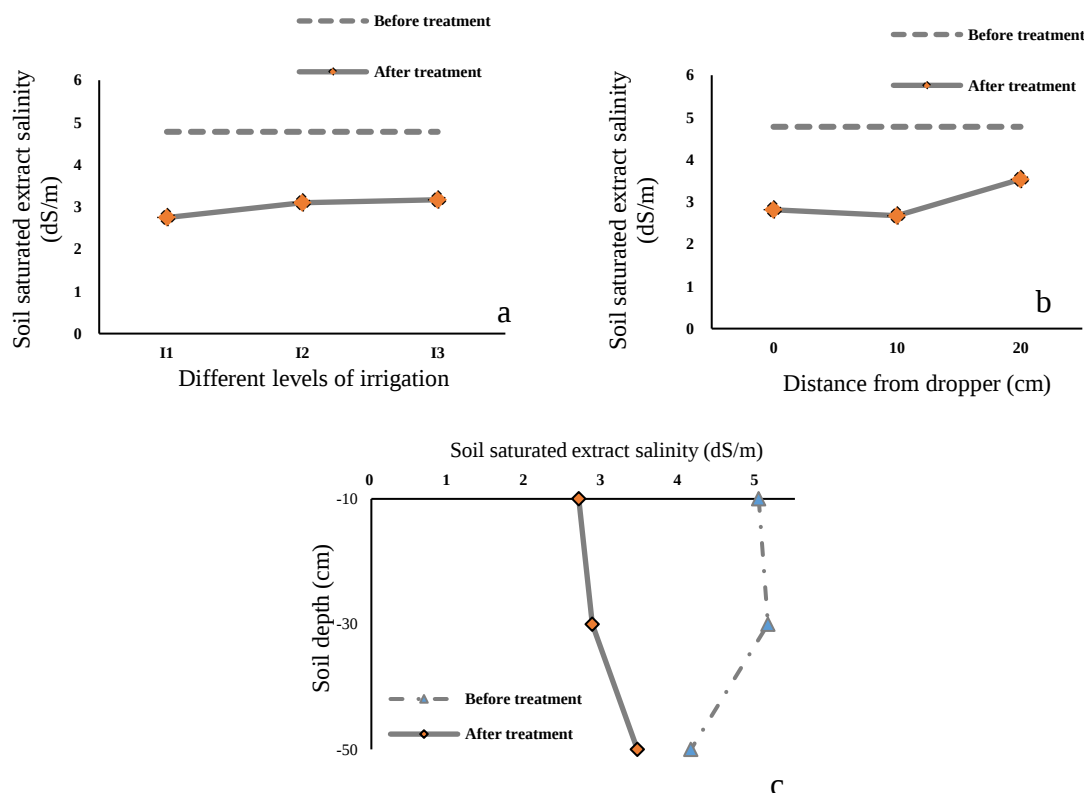


شکل ۴- روند تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف در طول فصل کشت

Figure 4. Changes in soil salinity at different depths during the growing season

خاک در انتهای فصل کشت در تیمارهای I₁ و I₂ و I₃ نسبت به ابتدای فصل کشت، بین ۴۲ تا ۳۳ درصد کاهش یافت. همچنین کم‌ترین شوری انتهای فصل کشت مربوط به I₁ بود که با توجه به افزایش عمق آبیاری نسبت به دو تیمار دیگر (I₂ و I₃) قابل توجه می‌باشد. نحوه تغییر مقادیر شوری خاک در فواصل مختلف از قطره‌چکان در ابتدا و انتهای فصل کشت در شکل ۵ (b) ارائه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده، در فواصل نزدیک به محور قطره‌چکان (۱۰-۰ سانتی‌متر)، شوری خاک دارای مقدار تقریباً ثابتی در بازه ۲/۷ تا ۲/۸ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. اما با افزایش فاصله به ۲۰ سانتی‌متری از محور قطره‌چکان، مقدار شوری خاک به ۳/۵۳ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت، که می‌تواند به دلیل کاهش میزان رطوبت خاک نسبت به فواصل نزدیک‌تر به محور قطره‌چکان باشد.

بر اساس نتایج بدست آمده، روند کاهشی شوری خاک، مشابه دو نیم‌رخ دیگر (۲۰-۴۰ سانتی‌متر) بود. از طرفی میزان شوری خاک در انتهای فصل کشت، با کاهش میزان عمق آب آبیاری افزایش یافت به طوری که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار شوری خاک به ترتیب برابر ۳/۸۸ و ۳/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر مربوط به I₃ و I₁ بودند. به طور کلی مقدار شوری خاک در انتهای فصل کشت نسبت به ابتدای فصل کشت تفاوت زیادی نداشت (به طور میانگین ۱۲ درصد کاهش) و این در حالی است که تحقیقات زارعی و همکاران (Zareei et al., 2007) نیز نشان می‌دهد، شوری خاک با افزایش عمق خاک به بیش از ۳۰ سانتی‌متر تغییر زیادی نمی‌کند. در ادامه مقایسه مقادیر شوری در ابتدا و انتهای فصل کشت در شکل ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۵ (a) نیز قابل مشاهده است، مقادیر شوری



شکل ۵. (a) تغییرات شوری در سطوح مختلف آبیاری، (b) تغییرات شوری در فواصل مختلف قطره چکان و (c) تغییرات شوری در اعماق مختلف خاک در ابتدا و انتهای فصل کشت لوبیا.

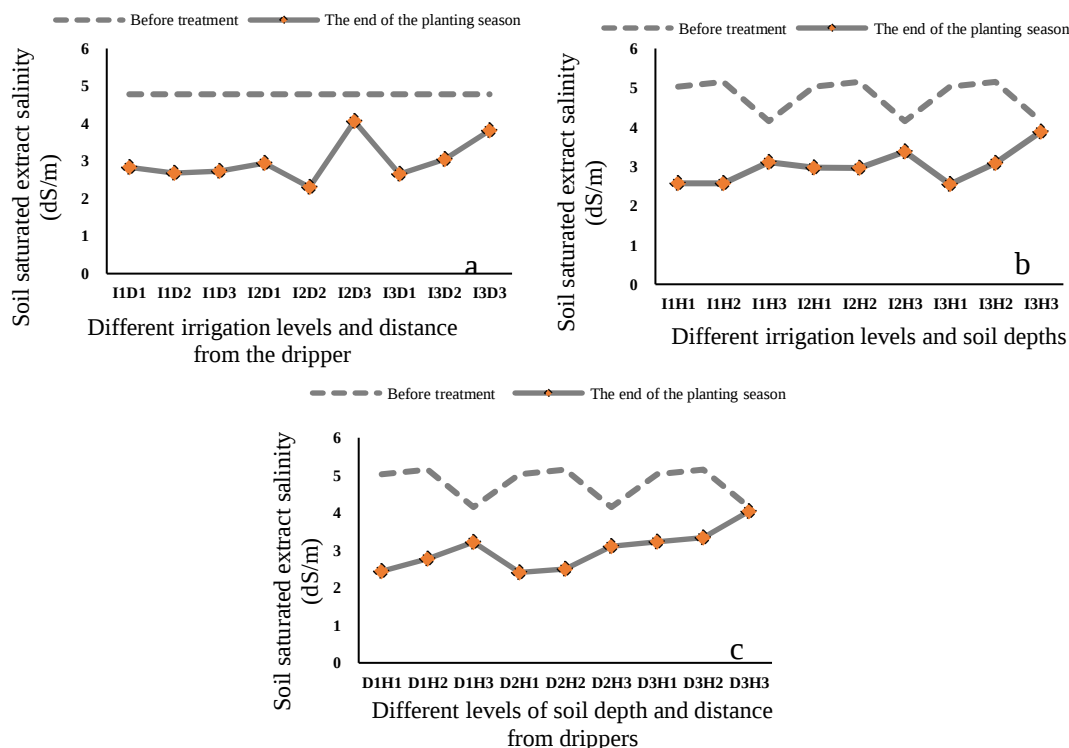
Figure 5. (a) Salinity changes at different irrigation levels, (b) salinity changes at different dripper distances and (c) salinity changes at different soil depths at the beginning and end of the bean growing season

شده است (Taheri *et al*, 2017). همچنین نتایج تحقیقات قائدی و دلبری (Ghaedi & Delbari, 2017) نشان داد که در اکثر نمونه‌های خاک مورد بررسی، با افزایش عمق خاک میزان شوری کاهش می‌یابد. علت این امر احتمالاً می‌تواند به دلیل آبشویی لایه‌های بالا به لایه‌های زیرین و افزایش شوری سطح خاک در اثر تبخیر بالای منطقه مورد مطالعه باشد. بر اساس نتایج شکل ۶ (a) مشاهده می‌شود اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری (I) و فاصله از قطره‌چکان (D) معنی‌دار نبوده است و غیر از دو تیمار I_2D_3 و I_3D_3 که شوری عصاره اشباع آن‌ها حدود ۴ دسی‌زیمنس بر متر بود. در اکثر موارد تغییرات بسیار ناچیز و حدوداً کمتر از ده درصد است. علت اصلی افزایش مقدار شوری عصاره اشباع خاک در دو تیمار ذکر شده هم می‌تواند به‌خاطر فاصله زیاد از قطره‌چکان و مقدار رطوبت کم آن باشد که پس از تبخیر، املاح باقی‌مانده و به عمق‌های پایین آبشویی نمی‌شوند. از طرفی بر اساس نتایج شکل ۶ (a) بیش‌ترین و کم‌ترین

در این مورد، نتایج تحقیقات نصراللهی و همکاران (Nasrollahi *et al.*, 2015) نیز نشان داد مقدار شوری خاک با فاصله گرفتن از قطره‌چکان افزایش می‌یابد. نحوه تغییر میزان شوری خاک در اعماق مختلف خاک در ابتدا و انتهای فصل کشت در شکل ۵ (c) قابل مشاهده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقادیر شوری در انتهای فصل کشت کاهش یافته است. همچنین مقادیر شوری خاک با افزایش عمق خاک، افزایش یافته است، به طوری که مقدار شوری خاک در عمق ۴۰-۶۰ سانتی‌متر برابر ۳/۴۵ دسی‌زیمنس بر متر و به‌ترتیب ۲۰ و ۲۸ درصد بیش‌تر از شوری خاک در اعماق ۲۰-۴۰ و ۲۰-۲۰ سانتی‌متر بود. علت این امر می‌تواند آبشویی املاح از لایه‌های بالاتر به لایه‌های زیرین باشد که موجب افزایش شوری خاک در عمق‌های پایین خاک می‌شود. نتایج تحقیقات انجام شده نیز نشان دهنده افزایش میزان شوری خاک در اعماق پایین‌تر می‌باشد، که علت این مسئله، تجمع املاح آبشویی شده از بخش‌های بالایی بیان

خاک افزایش یافت. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شوری عصاره اشباع بر اساس شکل ۶ (b) مربوط به تیمارهای I1H1 (۲/۵۶ دسی زیمنس بر متر) و I3H3 (۳/۸۸ دسی زیمنس بر متر) بود. همچنین اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و فاصله از قطره‌چکان بر مقادیر شوری عصاره اشباع خاک در اعماق مختلف خاک (۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متر) در شکل ۶ ارایه شده است.

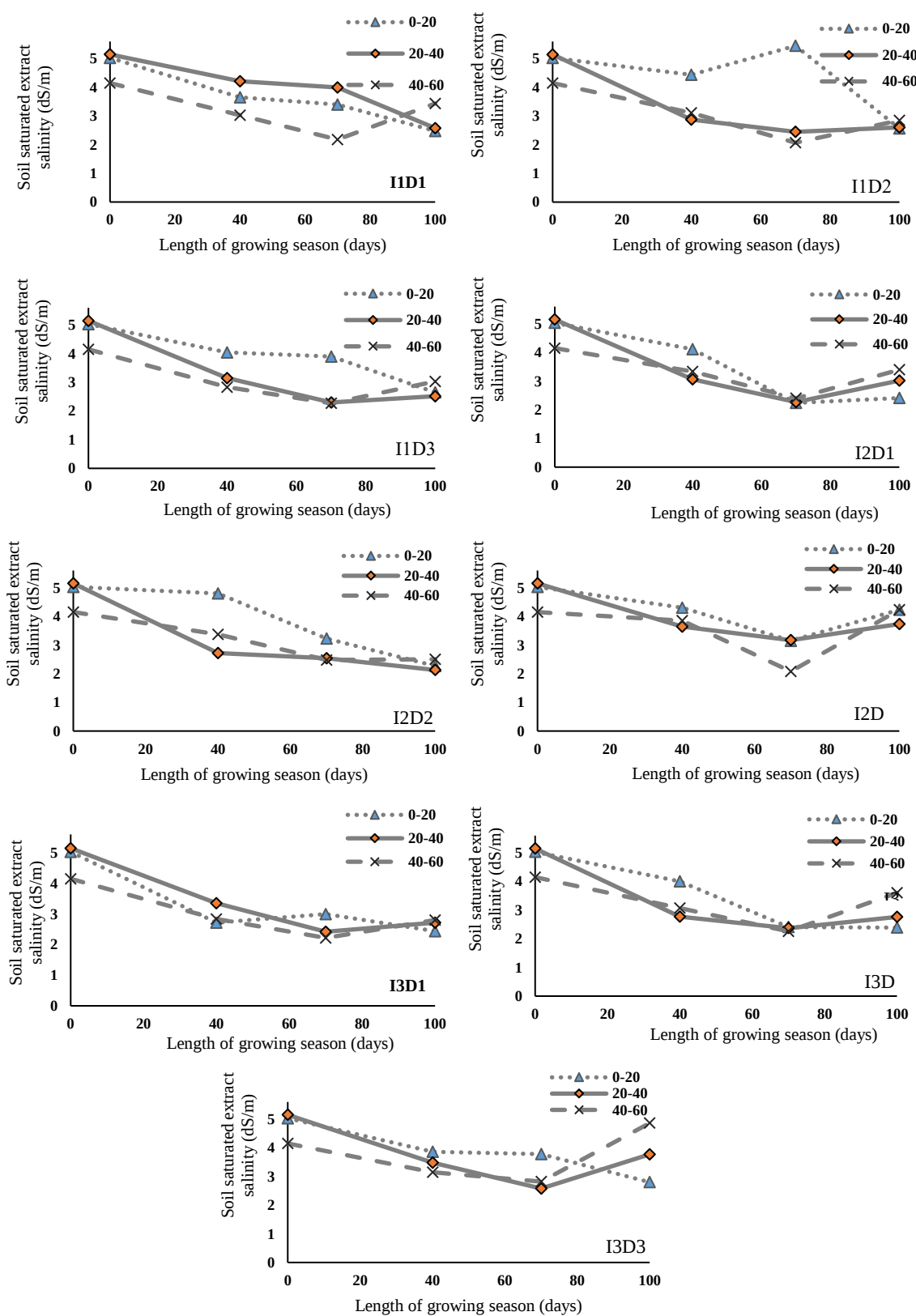
مقادیر شوری عصاره اشباع خاک به‌ترتیب مربوط به تیمارهای I2D3 و I2D2 با مقادیر ۴/۰۶ و ۲/۳ دسی زیمنس بر متر بود. نحوه تغییرات شوری عصاره اشباع خاک در سطوح مختلف آبیاری (I) و عمق خاک (H) در ابتدا و انتهای فصل کشت در شکل ۶ (b) ارایه شده است. به‌طور کلی بر اساس نتایج، با افزایش هم‌زمان I و H (کاهش مقدار آبیاری و افزایش عمق خاک) مقدار شوری عصاره اشباع



شکل ۶- (a) تغییرات شوری تحت اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و فاصله از قطره چکان، (b) تغییرات شوری تحت اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و عمق خاک در ابتدا و انتهای فصل کشت و (c) تغییرات شوری تحت اثر متقابل عمق خاک و فاصله قطره چکان. Figure 6. (a) Salinity changes under the interaction effect of different irrigation levels and distance from the dripper, (b) Salinity changes under the interaction effect of different irrigation levels and soil depth at the beginning and the end of the planting season (c) Salinity changes under the interaction effect of soil depth and dripper distance and.

به تیمارهای D3H3 و D1H1 برابر با ۲/۴۳ و ۴/۰۴ دسی زیمنس بر متر بود. با توجه به نتایج بدست آمده اثر متقابل مقادیر مختلف آبیاری و فاصله از قطره‌چکان معنی‌دار نبود و تنها در شکل ۶ (a) تیمارهای دارای بیش‌ترین فاصله از محور قطره‌چکان دارای بیش‌ترین شوری عصاره اشباع خاک بوده که دلایل آن در توضیح شکل ۵ (a) بیان شد. در شکل ۷، اثر هم‌زمان آبیاری و فاصله از محور قطره‌چکان بر روند تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف خاک در طول فصل کشت به‌صورت جداگانه ارایه شده است.

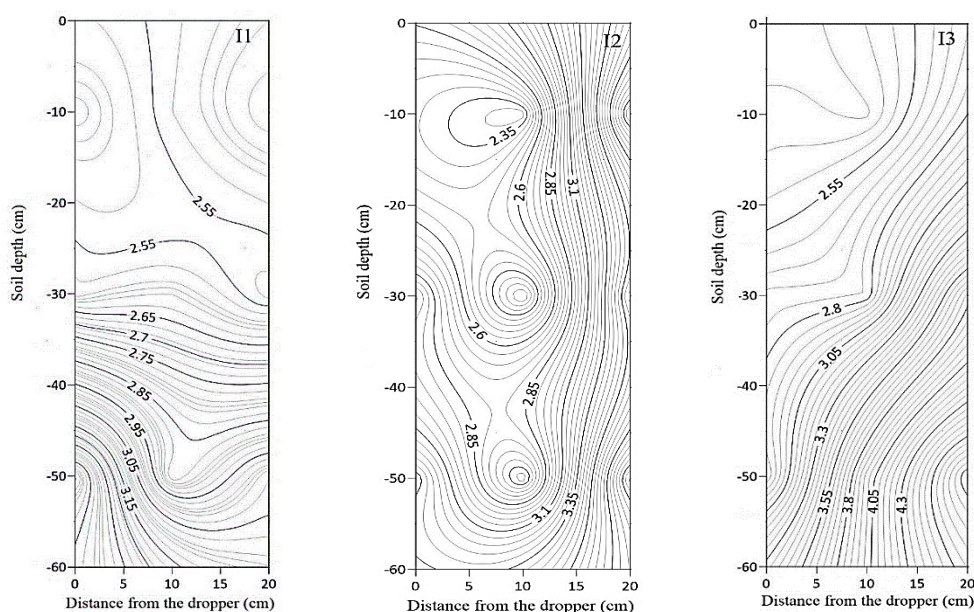
بر اساس نتایج تحقیقات طاهری و همکاران (Taheri et al., 2017) نیز، اثر متقابل سطوح مختلف آبیاری و فاصله از قطره‌چکان بر میزان شوری عصاره اشباع خاک معنی‌دار نبود. در شکل ۶ (c) نحوه عملکرد اثر متقابل عمق خاک (H) و فاصله از قطره‌چکان (D) بر تغییر میزان شوری عصاره اشباع خاک ارایه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده، به‌طور کلی با افزایش عمق خاک و فاصله از قطره‌چکان میزان شوری خاک افزایش یافت، به‌طوری که کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار شوری عصاره اشباع خاک به‌ترتیب مربوط



شکل ۷- مقادیر شوری تحت اثر متقابل مقادیر آبیاری و فاصله از قطره چکان در سطوح عمق‌های مختلف
 Figure 7. Salinity values under the interaction effect of irrigation amounts and distance from the dripper at different depth levels

موجب کاهش مقدار شوری خاک در لایه‌های مختلف خاک (۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۶۰ سانتی‌متری) نسبت به ابتدای فصل کشت شده است. در سایر تیمارهای مورد بررسی، نیز این روند کاهش شوری خاک مشاهده شده است. وضعیت توزیع شوری در اعماق مختلف خاک و فواصل از محور قطره‌چکان در شکل ۸ که با استفاده از نرم‌افزار Surfer ترسیم شده، ارایه شده است. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد با افزایش عمق میزان شوری عصاره اشباع خاک نیز افزایش یافته است. همچنین با افزایش فاصله نسبت به محور قطره‌چکان در اکثر موارد مقدار شوری خاک افزایش یافته است.

روند کلی تغییرات شوری خاک در اعماق مختلف خاک در طول فصل کشت در تیمارهای نه‌گانه (I1D1 تا I3D3) بر اساس شکل ۷، تقریباً یک روند مشابه است، هر چند در برخی موارد تفاوت‌های ناچیزی از نظر مقادیر و روند وجود دارد. بنابراین جهت اختصار، فقط به بررسی این تغییرات در مورد تیمار I1D1 پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌گردد (تیمار I1D1)، روند تغییرات مقادیر شوری خاک در تیمار در طول فصل کشت به صورت کاهشی بود. علت این امر می‌تواند کیفیت خوب آب آبیاری (با شوری کمتر از یک دسی زیمنس بر متر) و بارش‌های طول فصل کشت (جدول ۱) باشد که



شکل ۸- توزیع شوری در اعماق مختلف خاک و فواصل مختلف قطره چکان تحت تیمار آبیاری I1، I2 و I3
Figure 8. Distribution of salinity in different soil depths and different dripper distances under irrigation treatment I1, I2 and I3

از محور قطره‌چکان قرار دارد. همچنین کم‌ترین شوری در عمق ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متری و در راستای محور قطره‌چکان مشاهده شد. طاهری و همکاران (Taheri et al., 2017) نیز افزایش شوری خاک را با افزایش فاصله از محور قطره‌چکان گزارش کردند.

نتیجه‌گیری کلی

این تحقیق با هدف بررسی الگوی توزیع شوری (در اعماق و فواصل نسبت به قطره‌چکان) در آبیاری قطره‌ای برای سطوح مختلف آبیاری در کشت لوبیاجیتی انجام شد.

همان‌طور که در شکل ۸، I2 و I3 نیز مشاهده می‌گردد به‌طور کلی روند تغییرات مشابه بوده و با افزایش عمق خاک و فاصله از محور قطره‌چکان شوری عصاره اشباع خاک افزایش یافته است که علت آن می‌تواند مربوط به کاهش میزان آبشویی در بخش‌هایی باشد که از قطره‌چکان فاصله دارند و آب کافی به آن‌ها نمی‌رسد و در نتیجه میزان شوری آن‌ها به مرور افزایش می‌یابد. نتایج مطالعات صالح و حسن‌لی (Saleh & Hassanli, 2014) نیز موید نتایج تحقیق حاضر می‌باشد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد بیش‌ترین مقادیر شوری در عمق‌های ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری

کاربردی (با رعایت اصول فنی و مدیریت صحیح) موجب کاهش میزان آب مصرفی و افزایش بهره‌وری آب آبیاری خواهد شد، اما بر اساس نتایج این پژوهش توجه به مباحثی مثل شوری خاک و نحوه توزیع شوری خاک در قسمت‌های مختلف مزرعه به دلیل شرایط خاص این روش و نوع آبیاری می‌تواند موجب ضمانت پایداری حاصلخیزی زمین و عملکرد محصولات آن در آینده باشد. زیرا شوری خاک مشکلی است که مدیریت غیر اصولی آن می‌تواند منجر به از بین رفتن اراضی کشاورزی و حتی مهاجرت جوامع شود. بنابراین بر اساس نتایج این پژوهش توصیه می‌شود بعد از استفاده از روش آبیاری قطره‌ای یا کم آبیاری جهت بهبود وضعیت شوری خاک در اعماق نزدیک سطح خاک و در فواصل زیاد از قطره‌چکان، از آبیاری در انتهای فصل یا ابتدای فصل کشت استفاده شود. گرچه استفاده از چند آبیاری سطحی در ابتدای فصل بعد هم می‌تواند به‌عنوان جایگزین استفاده شود.

براساس نتایج به‌دست آمده از این مطالعه، اثر مقادیر مختلف آبیاری بر روی وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیست توده گیاه لوبیاچیتی معنی‌دار بود. همچنین بررسی‌های انجام شده در مورد نحوه توزیع شوری در خاک نشان داد، با افزایش فاصله از محور قطره‌چکان میزان شوری خاک افزایش می‌یابد، که علت این امر می‌تواند کاهش میزان رطوبت خاک در فواصل بیش‌تر و کاهش میزان آبیاری باشد. میزان شوری خاک در اکثر تیمارهای آبیاری در عمق صفر تا ۲۰ سانتی‌متر دارای روند کاهشی بود، که می‌تواند به دلیل شستشوی نمک‌های سطحی و انتقال آن به لایه‌های زیرین باشد. از نتایج دیگر این مطالعه کاهش میزان شوری خاک در طول فصل کشت بود، که از دلایل اصلی آن می‌تواند مقادیر پایین شوری آب‌آبیاری و نزولات جوی باشد. شوری خاک با افزایش عمق خاک افزایش یافته است. هر چند نتایج تحقیقات پژوهشگران بیانگر این است که استفاده از کم آبیاری و آبیاری قطره‌ای به‌عنوان دو روش

References

- Abd El-Wahed M. H., Al-Omran A. M., Hegazi M. M., Ali M. M., Ibrahim Y. A. M., and El Sabagh A. 2020. Salt distribution and potato response to irrigation regimes under varying mulching materials. *Plants*, 9: 701.
- Akbari M., and Ghasemi M. M. 2024. Investigation of salinity distribution in the root zone of pistachio trees in surface, bubbler and drip irrigation methods. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 18:103-114. (In Persian)
- Alimohamadi A., and Yazdanpanah N. 2021. Effect of Irrigation Water Salinity on Growth and Physiology Characteristics of Three Cucumber Cultivars. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52: 667-676.
- Bayat A. A., Sepehri A., Ahmadvand G., and Dorri H.R. 2010. Effect of water deficit stress on yield and yield components of pinto bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes. *Iranian Journal of Crop Sciences*. 12: 42- 54 (In Persian)
- Cheraghi A. M., and Dehghanisani H. 2017. Drip Irrigation under Saline Water Use. *Water Management in Agriculture*, 4: 1-8. (In Persian)
- Dehghani Ahmadabadi M., Shahnazari A., Ghadami Firouzabadi A., and Ardakani, M. 2021. The effect of irrigation management on growth and water uses efficiency of maize plant under different levels of biochar. *Water Management in Agriculture*, 8: 67-76 (In Persian)
- Doraki G. R., Zamani G. R., and Sayyari M. H. 2018. Effect of salt stress on yield and yield components in chickpea (*Cicer arietinum* L. cv. Azad). *Iranian Journal Pulses Research*, 9: 57-68. (In Persian)
- Du Y., Liu X., Zhang L., and Zhou W. 2023. Drip irrigation in agricultural saline-alkali land controls soil salinity and improves crop yield: Evidence from a global meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 880: 163226.
- Esmaily M., Dadashi M. R., Fayzbakhsh M. T., Kaboosi K., and Shaikh F. 2024. Evaluation of the effect of low irrigation levels on the quantitative and qualitative traits of different maize hybrids forage in the climatic conditions of Gorgan. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 17: 193-207.
- Fróna D., Szenderák J., and Harangi-Rákos M. 2019. The challenge of feeding the world. *Sustainability*, 11: 5816.
- Gazor Habibabadi N., and Derakhshan H. 2023. Groundwater-Drought Conjunctive Management: A review of California Experiences. *Journal of Water and Sustainable Development*, 10: 77-86. (In Persian)

- Ghaedi S., and Delbari M. 2017. The study of different conjunctional managements in saline and non-saline water on sorghum's yield and distribution of salinity in soil profile. *Water and Irrigation Management*, 7: 227-240. (In Persian)
- Heidarinia M., Naseri A. A., and Boroomandnasab S. 2016. Effect of Wheat Residues Management and Irrigation with Saline Water on Spring Maize Yield and Soil Profile Salinity Changes. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30: 285-299. (In Persian)
- Hejazi M., Santos Da Silva S. R., Miralles-Wilhelm F., Kim S., Kyle P., Liu Y., Vernon C., Delgado A., Edmonds J., and Clarke L. 2023. Impacts of water scarcity on agricultural production and electricity generation in the Middle East and North Africa. *Frontiers in Environmental Science*, 11: 1082930.
- Jafari H., Noor-Gholipour F., and Rajaei M. 2019. Investigation of determination of the optimal irrigation interval on yield and yield components of sesame in Sesame field region of Iran using class A evaporation pan. *Irrigation and Water Engineering*, 9: 206-221. (In Persian)
- Jahanbazi L., Mirkhani R., Heydari A., and Qavami M.S. 2024. Monitoring Spatio-Temporal Salinity Changes using Remote Sensing (Case Study: Rudasht, Isfahan). *Applied Soil Research*, 12: 64-78. (In Persian)
- Khoshsima M., and Noori H. 2019. Effect of Drip Tape Irrigation with Saline Water on Some Chemical Properties of Soil. *Journal of Water Research in Agriculture*, 33: 565-581. (In Persian)
- Nasrollahi A., Bromandnasab S., Hoshmand A., and Mesgarbashi M. 2015. Effect of Different Management Strategies in Use of Saline Water on Maize Yield and Water Productivity in Drip Irrigation Method. *Water and Soil Science*, 25: 51-63. (In Persian)
- Rajabi M., Jalal-Kamali N., and Naghizade M. 2021. The Effect of Deficit irrigation on yield and water use efficiency of wheat: a case study of Bardsir plain. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 15: 701-709. (In Persian)
- Saleh I., and Hassanli A.M. 2014. Evaluating the Effect of Water Quality and Irrigation Methods on the Distribution of Soil Salinity in the Semi-Arid Region of Corbal Plain. *Journal of Water and Sustainable Development*, 1: 47-54. (In Persian)
- Seidan Seyed Mohsen, and Kadami Firouzabadi A. 2019. Comparison of water consumption efficiency in drip and rain irrigation systems in potato crop in Hamadan province. *Promotional Journal of Applied Potato Sciences*, 3: 17-24. (In Persian)
- Sperandio G., Pagano M., Acampora A., Civitarese V., Cedrola C., Mattei P., and Tomasone R. 2022. Deficit irrigation for efficiency and water saving in poplar plantations. *Sustainability*, 14: 13991.
- Srivastav A. L. 2020. Chemical fertilizers and pesticides: role in groundwater contamination. In *Agrochemicals detection, treatment and remediation*, pp. 143-159.
- Taheri M., Taheri M., Abbasi M., Mostafavi K., and Vahedi S. 2017. Patterns of soil salinity and sodium under surface and subsurface drip irrigation in olive trees. *Irrigation and Water Engineering*, 7: 127-141. (In Persian)
- Valinejad F., Zakirinia M., and Kazemi H. 2024. Temporal and spatial changes of soil salinity in a part of the 280-thousand-hectare drainage plan lands of Golestan province. *Applied Soil Research*, 12: 83-95. (In Persian)
- Wang Y., Gao M., Chen H., Fu X., Wang L., and Wang R. 2023. Soil moisture and salinity dynamics of drip irrigation in saline-alkali soil of Yellow River basin. *Frontiers in Environmental Science*, 11:1130455.
- Yang P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H., and Qian L. 2023. Review on drip irrigation: impact on crop yield, quality, and water productivity in China. *Water*, 15: 1733.
- Zand-Parsa S., Sepaskhah A., and Didari S. 2024. Gradual Reduction of Agricultural Water Withdrawal an Effective Step in Adapting to Water Scarcity in Iran. *Strategic Research Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 9: 19-34. (In Persian)
- Zareei M.A., Tabatabai S.H., Shayannejad M., Begi-Harchgani H. 2007. Salinity distribution pattern in soil profile under three irrigation regimes in Kirti irrigation in eastern lands of Isfahan, *Journal of Research on Crop Ecology*, 3: 196-206. (In Persian)