نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۷، ص. ۸۹۰-۸۷۹

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 5, Nov.-Des. 2018, p. 879-890

اثر مدیریت آبشویی بر تغییرات شوری در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (مطالعه موردی: سمنان)

حسین دهقانی سانیج[1*]- حمیدرضا حاجی آقابزرگی[2]- علی اصغر قائمی[3]- مسعود نوشادی[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۷

چکیده

اعمال آبشویی همراه با مدیریت صحیح آبیاری یکی از روش‌های مؤثر در کاهش میزان شوری خاک است. در این پژوهش تأثیر مدیریت آبشویی بر تغییرات میزان شوری در سه رژیم آبیاری منطبق بر مدیریت زارع (I_1)، نیاز آبی (I_2) و نیاز آبی و آبشویی (I_3) در باغ پسته‌ای در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پژوهش بیان‌گر عملکرد بهتر دو رژیم I_2 و I_3 در خارج کردن سدیم از منطقه ریشه بود و رژیم آبیاری I_2 به دلیل کاهش بیشتر میزان سدیم در مقابل حجم آب کاربردی کم‌تر و نیز بهتر عمل کردن در طول دوره رشد مناسب‌تر از رژیم آبیاری I_3 بود. از لحاظ میزان منیزیم رژیم I_2 نسبت به رژیم I_1 و I_3 موفق‌تر عمل کرد. اعمال بیش از حد مجاز آب نه تنها اثر مطلوبی بر خارج کردن املاح از منطقه ریشه ندارد بلکه ممکن است باعث تجمع املاح و آسیب رساندن به گیاه شود. بیش‌ترین مقدار کلسیم موجود در خاک متعلق به رژیم I_2 و I_3 به‌ترتیب برابر با ۵۲/۳ و ۵۸/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر و کم‌ترین مقدار این عنصر مربوط به رژیم I_1 و I_2 برابر با ۴۰/۸ میلی‌اکی والان بر لیتر بود. از لحاظ میزان SAR رژیم I_2 با کاهش معنی‌دار بیش‌تری مواجه بود و نسبت به رژیم‌های دیگر برتری داشت. در زمان پس از اولین آبیاری در میزان EC_e در عمق‌های ۲۵ و ۷۵ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، ولی در عمق ۵۰ سانتی‌متری EC_e کاهش معنی‌داری داشت. بیشترین میزان EC_e با مقدار ۱۴/۵ دسی‌زیمنس بر متر در عمق ۷۵ سانتی‌متری از سطح خاک در زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری مشاهده شد. اعمال آبشویی باعث کاهش میزان SAR در انتهای فصل رشد نسبت به ابتدای فصل رشد گردید و این کاهش در میزان SAR در اثر اعمال آبشویی در رژیم آبیاری I_2 بیشتر بود و نسبت به دو رژیم آبیاری دیگر موفق‌تر عمل کرد. لذا تا شروع فصل رشد بعدی که از بهار شروع می‌شود میزان SAR کم‌تری را در خاک ذخیره کرده که می‌تواند اثرات زیان‌آور آن را تعدیل کند.

واژه‌های کلیدی: پسته، تجمع املاح، خاک‌های شور، عمق خاک، مدیریت آبیاری، SAR

مقدمه

شور شدن خاک یک مشکل جهانی است که توسعه کشاورزی را محدود می‌کند و زندگی انسان‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۳۰). با توجه به تحقیقات صورت گرفته عوامل متعددی مانند آب و هوا و آبیاری (بارش، کسر آبشویی)، نوع خاک و شوری اصلی خاک، شوری آب آبیاری، یکنواختی توزیع سیستم و آبیاری با آب شور تغییرات شوری خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۳ و ۲۷). شوری خاک هنگامی رخ می‌دهد که نمک‌های محلول آب در خاک تجمع می‌یابند تا سطح تولید کشاورزی، سلامت محیطی و اقتصاد را تحت تأثیر قرار دهد. در مراحل اولیه، شوری بر متابولیسم موجودات خاک تأثیر می گذارد و باعث کاهش بهره‌وری خاک می‌شود، اما در مراحل توسعه، تمام گیاهان و سایر موجودات زنده در خاک را از بین می‌برد و در نتیجه زمین‌های حاصلخیز و تولیدی را به اراضی بی‌ثمر و بیابان‌زایی تبدیل می‌کند (۱۷ و ۲۹). همچنین شوری خاک به دلیل جلوگیری از جذب آب و عناصر غذایی، یکی از محدودیت‌های رشد گیاهان زراعی محسوب می‌شود و به عنوان مشکلی بزرگ در بین گیاهان تحت کشاورزی آبی در نظر گرفته شده است (۱۸). اگرچه خاک شور می تواند بازده قابل‌قبولی از محصول را تولید کند اما استفاده از آب آبیاری شور منجر به کاهش آب در دسترس برای گیاه می‌شود که این به نوبه خود می‌تواند باعث پایین بودن قطر ساقه و کاهش عملکرد میوه شود (۲۴). بنابراین، در برنامه‌های کشاورزی در زمین‌های تحت

۱- دانشیار پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، البرز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir
۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب کارشناس ارشد آبیاری زهکشی و دانشیاران، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

DOI: 10.22067/jsw.v32i5.71960

آبیاری، مقادیر شوری خاک‌ها باید تا میزان مطلوب، به منظور بازده اقتصادی تولیدات زراعی و باغی کاهش داده شده و کنترل گردد. یکی از روش‌های مؤثر جهت جلوگیری از تجمع شوری و املاح نمک در محیط ریشه گیاهان و خسارات ناشی از آن بر گیاهان، استفاده از آبشویی اراضی است. آبشویی می‌تواند با کاهش دادن تجمع املاح نمک در محیط ریشه، شرایط مناسبی را برای رشد گیاهان زراعی فراهم کند، از این‌رو برآورد زمان و میزان آب مصرفی می‌تواند در جلوگیری از تجمع نمک‌های مضر در محیط ریشه مفید باشد (۶ و ۱۹). چندین محقق مزیت‌های تأثیر آبشویی بر بهبود خاک و عملکرد محصول را گزارش کرده‌اند (۹، ۱۲ و ۱۴). روند کاهشی مقدار pH، هدایت الکتریکی و املاح محلول در خاک پس از اعمال هفت نوبت آبیاری (به عنوان آبشویی) گزارش شده است (۳۰). بررسی تغییرات غلظت املاح در زهاب خروجی از ستون‌های خاک نشان داد که بیش‌ترین میزان املاح در اولین مرحله آبشویی از ستون‌های خاک خارج شد و با تکرار عملیات آبشویی در مراحل بعد، غلظت آن به صورت غیرخطی کاهش یافت و به مقدار تقریباً ثابتی رسید (۱۶). در پژوهشی با دو روش آبشویی غرقاب متناوب و پاششی نشان داده شد که روش آبشویی غرقاب متناوب عملکرد بهتری را در خارج کردن شوری و املاح خاک را از خود نشان داد (۵ و ۷). کاهش معنی‌دار میزان نسبت جذبی سدیم با استفاده از گچ محلول در آب برای اصلاح خاک‌های شور و سدیمی در پژوهشی در برزیل گزارش شد (۲۵). روند کاهش میزان درصد سدیم قابل‌تبادل در اثر فرایند آبشویی و نیز کاهش ۴۰/۶ درصدی میزان درصد سدیم قابل‌تبادل نسبت به میزان اولیه گزارش شد (۲۲). همچنین در تحقیق دیگری کاهش میزان نسبت جذبی سدیم و درصد سدیم تبادلی تا حدود ۲۱ درصد در اعماق مختلف خاک در اثر کاربرد روش آبشویی غرقاب متناوب نیز گزارش شده است (۲۳). با توجه به تحقیقات بالا در نقاط مختلف جهان مشاهده شد که با اعمال روش‌های مختلف آبشویی سعی در کاهش میزان شوری و املاح خاک شد تا خسارات ناشی از شوری و تجمع املاح را در منطقه ریشه گیاهان به حداقل رسانده و مانع از کاهش عملکرد محصولات زراعی و باغی شوند. با توجه به این‌که تجمع نمک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی قسمتی از نگرانی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک است، مناطقی که میزان تبخیر و تعرق بالا و بارندگی کم در آن‌ها می‌تواند منجر به تجمع مقدار زیادی از نمک در نزدیکی سطح خاک شود از این‌رو استفاده از آبشویی نمک از سطح به عمق خاک، جایی که نمک‌ها دیگر تهدیدی برای نهال‌ها نیستند لازم است. زراعت پسته در کشور ما در شرایط آب و خاک شور و محدودیت منابع آبی انجام می‌شود. بر اساس استاندارد فائو ۲۹ (۴) سطح تحمل درختان پسته به شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب برابر با ۱/۱ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر است. این در حالی است که شوری آب آبیاری در بسیاری از باغات پسته کشور بیش از این مقدار بوده و کشاورزان بر اساس تجربه تلاش می‌کنند با آبیاری‌های خارج فصل نسبت به آبشویی خاک اقدام کنند. کاربرد سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در باغات این فرض را می‌تواند به همراه داشته باشد که آبشویی توسط سیستم انجام شود و توسط بسیاری از طراحان این سامانه‌ها در دفترچه طراحی منظور می‌شود. لیکن مطالعه مدیریت آبیاری و آبشویی در این سامانه‌ها و اثرات آن بر کاهش میزان املاح خاک و نحوه توزیع آن در شرایط مدیریت کشاورز و بخصوص شرایط خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت آب آبیاری مواجه هستند اهمیت زیادی دارد و برای تدقیق در طراحی و مدیریت آبیاری نیاز است. هدف از پژوهش حاضر بررسی و تعیین مدیریت آبشویی مناسب در کنترل شوری و سایر املاح موجود در خاک تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بود.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال‌های ۱۳۹۲ -۱۳۹۱ در یک باغ پسته در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان با طول و عرض جغرافیایی ´۱۲ °۵۳ و ´۲۸ °۳۵ و با ارتفاع ۱۱۶۰ متر از سطح دریا انجام شد. اجرای پروژه در مساحتی حدود ۲ هکتار از این باغ که دارای درختان پسته با سن تقریبی ۱۰ سال بود صورت گرفت. آرایش درختان بر روی ردیف ۳ متر و بین ردیف ۷ متر بود. آب آبیاری باغ از طریق دو حلقه چاه تأمین می‌شد که آبدهی هر یک حدود ۶-۵ لیتر بر ثانیه بود. آب این چاه‌ها در استخر با گنجایش ذخیره حدود ۱۶۰۰-۱۵۰۰ متر مکعب جمع‌آوری و توسط برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ مورد استفاده قرار می گرفت. سیستم پمپاژ مجهز به سیستم فیلتراسیون از نوع اسکن فیلتر بود. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی باغ تجهیز شده به لوله‌های قطره‌چکان‌دار داخل خط (in-line) شرکت یورودریپ نصب شده در عمق ۴۰ سانتی‌متری بود. قطره‌چکان‌های این لوله‌ها از نوع تنظیم‌کننده فشار، با فاصله ۸۰ سانتی¬متری و آبدهی ۲/۲۶ لیتر در ساعت بود. لوله‌های قطره چکان‌دار در فاصله یک متر از درخت و با آرایش دو ردیفه در اطراف ردیف درختان نصب شده بودند. به منظور اطمینان از یکنواختی پخش آب در مزرعه از شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و ضریب یکنواختی پخش آب مزرعه (DU) استفاده شد. اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه CU و DU در تاریخ ۱۰ خرداد در مزرعه اندازه گیری و با استفاده از معادلات ۱ و ۲ مقدار آنها به ترتیب ۹۶/۷ و ۹۵/۱ درصد به دست آمد که عالی درجه‌بندی می‌شوند (۱۵).

$$CU = 100 \times (1 - \frac{\sum|q_i - q_{i_{ave}}|}{\sum q_i}) \quad (۱)$$

$$DU = (1.6\ CU - 60) \quad (۲)$$

در این روابط q_i آبدهی قطره‌چکان‌ها است. جهت تعیین خصوصیات

خاک نمونه‌گیری از اعماق ۲۵-۰، ۵۰-۲۵ و cm ۷۵-۵۰ خاک انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. از دو حلقه چاه مزرعه نیز برای تعیین خصوصیات شیمیایی آب نمونه‌برداری شد که نتایج آن در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

Table 1- Physicochemical properties of the soil

عمق خاک	بافت خاک	رس	شن	سیلت	جرم مخصوص ظاهری خاک	رطوبت وزنی در ظرفیت زراعی	رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی دائم
Soil depth (cm)	Soil texture	Clay (%)	Sand (%)	Silt (%)	BD (g/cm^3)	FC (%)	PWP (%)
0-25	لوم شنی Sandy Loam	6	81	13	1.62	11.85	4.39
25-50	لوم شنی Sandy Loam	4	77	19	1.56	11.97	5.12
50-75	لوم شنی Sandy Loam	4	81	15	1.55	12.88	5.52

جدول ۲- خصوصیات شیمیایی و کیفی آب آبیاری

Table 2- Chemical and qualitative properties of the irrigation water

چاه	کلسیم	منیزیم	سدیم	پتاسیم	کربنات	کلر	کربنات هیدروژن	سولفات	نسبت جذب سدیم	اسیدیته	هدایت الکتریکی	مواد جامد محلول در آب	شاخص اشباع لانژیلر
Well	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	CO_3^{-2}	Cl^{-}	HCO_3	SO_4^{-2}	SAR	pH	EC	TDS	LSI
					Meq/l						dS/m	Mg/l	
1	27.2	17.9	42.2	0.62	-	49	2.25	35.8	8.88	7.16	7.95	5070	0.36
2	26.3	16.8	24.1	0.51	-	27.5	2.65	37.05	5.2	7.17	6.10	3890	0.43

با توجه به نتایج بررسی کیفیت آب اسیدیته هر یک از چاه‌های آبیاری (چاه شماره ۱ و ۲) که به‌ترتیب برابر ۷/۱۶ و ۷/۱۷ بود، درجه کیفیت این آب‌ها در طبقه‌بندی متوسط قرار داشت (۲) و استفاده از آب این چاه‌ها برای روش آبیاری قطره‌ای دارای درجه محدودیت کم تا متوسط بود.

آبیاری باغ مورد مطالعه به این صورت بود که از ابتدای فروردین سال زراعی ۹۲ آبیاری به روش متداول در مزرعه انجام شد ولی از ۹۲/۲/۲۵ لغایت ۹۲/۷/۳۰ در جهت رسیدن به اهداف تحقیق سه رژیم آبیاری در قطعه آزمایشی اعمال گردید که به شرح زیر می‌باشند:

رژیم آبیاری I_1- در این رژیم، آبیاری طبق مدیریت زارع که مبتنی بر ترکیبی از پیشنهاد دفترچه طراحی و تجربه و شرایط مزرعه بوده است، صورت گرفت و حجم آب داده شده، زمان آبیاری و دور آبیاری آن ثبت گردید.

رژیم آبیاری I_2 – در این رژیم، از داده‌های بهنگام هواشناسی مزرعه (داده‌های روزانه) برای محاسبه تبخیروتعرق (روش پنمن – مانتیث اصلاح شده و پیشنهادی فائو (PMF-56)) استفاده شد و نیاز آبیاری محاسبه شد. دور آبیاری قطعه آزمایش همان دور آبیاری تیمار I_1 بود و تنها ساعت آبیاری با توجه به میزان آب آبیاری تغییر کرد.

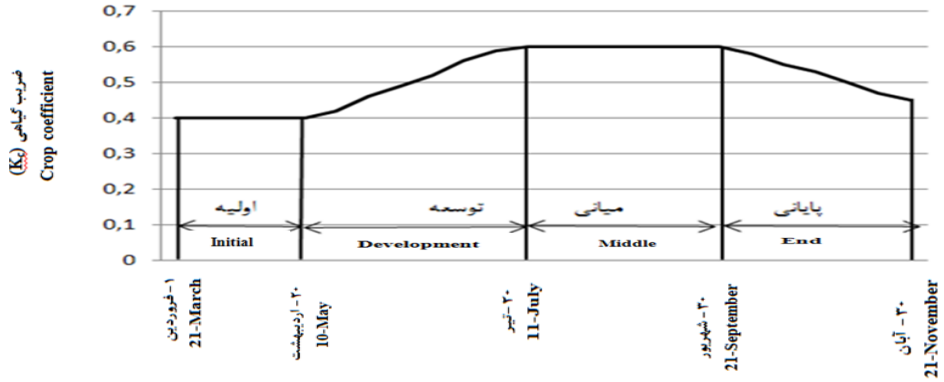
رژیم آبیاری I_3 – برابر با مجموع نیاز آبیاری (I_2) و آب آبشویی بود ($LR+I_2$).

بر اساس استاندارد فائو ۲۹ (۴) سطح تحمل درختان پسته به شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب برابر با ۱/۱ و ۱/۷ دسی زیمنس بر متر است. لذا اعمال ضریب بر اساس اعمال تنش شوری ممکن نبود. با توجه به شرایط منبع آب در مزرعه تنها امکان اعمال ۱۵ درصد به عنوان آبشویی فراهم بود که اعمال گردید.

برای محاسبه حجم آب مصرفی در رژیم دوم آبیاری، تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o) با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی و با روش پنمن- مانتیث (PM) تعیین گردید (۲)، سپس با استفاده از ضریب گیاهی (K_c) برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان (شکل ۱)، تبخیروتعرق گیاه مطابق رابطه (۳) به دست آمد:

$$ET_c = ET_o \times K_c \qquad (۳)$$

که در آن ET_c: تبخیر و تعرق روزانه گیاه (mm/ day)، ET_o: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (mm/ day)، K_c: ضریب گیاهی روزانه برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان (۸) است.



شکل ۱- ضریب گیاهی و طول دوره‌های مختلف رشد گیاه پسته

Figure 1– The crop coefficient and different growth stages of pistachio.

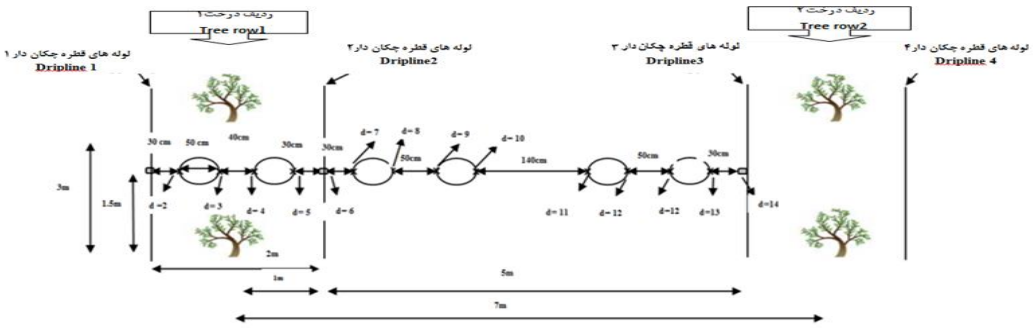
عمق خالص آب آبیاری (dn) بر اساس ET_c و با احتساب سطح سایه-انداز درختان که بر اساس شرایط مزرعه ۴۳ درصد تعیین گردید و دور آبیاری یک روز در میان محاسبه شد (۲۰). عمق ناخالص آبیاری (dg) بر حسب (mm) از رابطه‌ی (۴) به دست آمد:

$$dg = \frac{dn}{Ea} \qquad (۴)$$

مقدار راندمان آبیاری مورد انتظار در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی ۹۰ درصد تعیین و در محاسبه عمق ناخالص آبیاری اعمال شد. برای کلیه تیمارها کنتور حجمی نصب شده بود. برای تیمارهای ۲ و ۳ میزان آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال گردید. حجم کل مقدار آب آبیاری (d_g) با دور آبیاری یک روز در میان (F) در تیمارهای رژیم آبیاری I_1، I_2 و I_3 به ترتیب برابر ۶۲۵۴/۲۹، ۹۲۹۰/۷۹ و ۱۰۶۸۲/۲۴ مترمکعب در هکتار بود.

هدایت الکتریکی (EC_{iw})

برای اندازه‌گیری میزان شوری در خاک در دوره‌های رشد گیاه به ترتیب شامل دوره اولیه رشد (Initial stage)، توسعه (Development stage)، میانی (Middle stage)، و پایانی (End stage) از حد فاصل بین دو لوله قطره‌چکان‌دار اطراف ردیف درختان نمونه‌هایی وزنی قبل و بعد از آبیاری برداشت شد. بدین منظور با حفر دو چاله به قطر ۵۰ سانتی‌متر در بین دو لوله قطره‌چکان‌دار ۱ و ۲ و در وسط دو درخت و به فاصله ۳۰ سانتی‌متری از هر لوله قطره‌چکان دار)، روی لوله‌های قطره‌چکان‌دار (در روی لوله‌های قطره‌چکان‌دار شماره ۱ و ۲ و ۳، و در اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری و در خارج از حدفاصل لوله قطره‌چکان‌دار ۱ و ۲ با حفر دو چاله به قطر ۵۰ سانتی متر، به فاصله ۳۰ سانتی‌متری خارج از لوله‌های قطره‌چکان‌دار ۲ و ۳ (به سمت ردیف کناری درختان) و در راستای وسط دو تنه درخت نمونه‌ها برداشت شد (شکل ۲).



شکل ۲- الگوی محل نمونه‌گیری‌ها

Figure 2- Pattern of sampling locations

○ : چاله نمونه‌گیری حفر شده توسط مته تراکتور به قطر ۵۰ سانتی‌متر

× = محل نمونه‌گیری‌های دستی در اعماق ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر از سطح خاک

آنالیزهای آماری

به منظور بررسی اثرات مختلف تیمارهای رژیم آبیاری، عمق خاک، زمان بعد از اولین آبیاری و نیز اثرات متقابل دو و سه‌طرفه آن‌ها بر صفات مورد بررسی، از طرح آزمایشی فاکتوریل در کرت‌های خردشده در سه تکرار استفاده شد، به‌طوری‌که زمان به‌عنوان کرت اصلی در سه زمان انتخاب شده به عنوان نماینده برای هر کدام از دوره‌های رشد گیاه پسته به ترتیب شامل ۶ تیرماه (۹۸ روز بعد از اولین آبیاری: به عنوان نماینده دوره توسعه رشد)، ۲۹ مرداد ماه (۱۵۲ روز بعد از اولین آبیاری: به عنوان نماینده دوره میانی رشد) و ۲۳ مهر ماه (۲۰۸ روز بعد از اولین آبیاری: به عنوان نماینده دوره پایانی رشد) و همچنین آبیاری در هر سه رژیم و عمق خاک در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری به صورت فاکتوریل در نظر گرفته شدند. در آبیاری قطره ای که خاک به‌طور کامل اشباع نمی‌شود و حجم آبیاری به علت دور آبیاری کوتاه (۲ تا ۳ روز) پایین است، اثر هر آبیاری بر محیط خاک مهم تلقی می‌شود. به منظور آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده گردید و همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی و نیز اثرات متقابل به روش آزمون چند دامنه دانکن (DMRT) انجام گردید.

نتایج و بحث

بررسی تأثیر آبشویی بر میزان املاح EC_e، سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم

نتایج تجزیه واریانس تیمارهای طرح نشان داد که اثر تکرار بر میزان سدیم در سطح ۱ درصد و بر سایر صفات اختلاف معنی‌داری نداشت. تأثیر اثر مستقل زمان بعد از اولین آبیاری، رژیم آبیاری، عمق خاک و نیز اثرات متقابل دوطرفه زمان بعد از اولین آبیاری و رژیم آبیاری، زمان بعد از اولین آبیاری و عمق خاک و نیز اثر متقابل سه طرفه زمان بعد از اولین آبیاری، رژیم آبیاری و عمق خاک بر تمامی صفات مورد بررسی در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد ولی اثر متقابل عمق خاک و رژیم آبیاری بر میزان کلسیم معنی‌دار نشد اما بر سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی در سطوح مختلف زمان بعد از اولین آبیاری

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که میزان EC_e و SAR تحت تأثیر زمان بعد از اولین آبیاری در زمان‌های ۱۵۲ و ۲۰۸ روز نسبت به ۹۸ روز پس از اولین آبیاری با کاهش معنی‌داری مواجه بود. نتایج نشان داد که با گذشت زمان و سپری شدن روزهای پس از رشد گیاه پسته و وارد شدن به مراحل میانی و پایانی رشد از تجمع املاح EC_e و SAR نسبت به دوره توسعه رشد گیاه کاسته شد که سایر پژوهش‌ها نیز این نتیجه‌گیری را تائید می‌کنند (۱، ۱۰ و ۲۱). گذشت زمان در میزان تجمع املاح منیزیم، سدیم و کلسیم رفتار متفاوتی را نشان داد و به این صورت بود که در زمان ۱۵۲ روز نسبت به زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری کاهش یافت، اما با وارد شدن به مرحله میانی و در زمان ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۱۵۲ روز دارای افزایش معنی‌داری بود. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۴ بالاترین میزان EC_e، سدیم، منیزیم، کلسیم و SAR در زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری مشاهده شد.

اثرات رژیم‌های آبیاری و مراحل مختلف رشد بر تغییرات املاح در عمق‌های مختلف خاک

نتایج حاصل از این بررسی نشان داد در رژیم آبیاری I_1 میزان EC_e در زمان ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۹۸ و ۱۵۲ روز پس از اولین آبیاری افزایش یافت. در رژیم آبیاری I_2 بالاترین میزان EC_e با مقدار ۱۵ دسی‌زیمنس بر مترو در زمان ۹۸ روز بعد از اولین آبیاری اتفاق افتاد که با وارد شدن به مراحل میانی و پایانی گیاه و با افزایش نیاز آبی گیاه و نیز افزایش حجم آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه به ترتیب میزان تجمع املاح نسبت به دوره توسعه رشد گیاه پسته با کاهش معنی‌داری روبرو بود. در رژیم آبیاری I_3 روند تغییرات متفاوت بود و میزان EC_e در زمان ۱۵۲ روز نسبت به زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری با کاهش روبرو بود و افزایش میزان EC_e در زمان ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۱۵۲ روز پس از اولین آبیاری مشاهده شد. کاهش معنی‌دار میزان EC_e در انتهای فصل رشد نسبت به ابتدای فصل رشد متعلق به رژیم I_2 بود که این موضوع بیان‌گر موفق‌تر عمل کردن رژیم I_2 در آبشویی EC_e در طول دوره رشد پسته بوده است (جدول ۵) که دلیل آن را می‌توان ناشی از تأثیر مثبت آبشویی از سطح خاک در طول فصل رشد گیاه پسته دانست که باعث شسته شدن املاح از سطح خاک به اعماق پایین‌تر از سطح خاک دانست که باعث تجمع بیشتر EC_e در لایه‌های زیرین می‌شود که سایر پژوهش‌ها نیز این نتیجه‌گیری را تائید می‌کنند (۲۶ و ۲۸).

در رژیم آبیاری I_1 بین زمان ۹۸ و ۱۵۲ روز از اولین آبیاری از لحاظ میزان سدیم تفاوت معنی‌دار مشاهده نشد اما زمان ۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری نسبت به زمان ۱۵۲ روز دارای افزایش معنی‌دار بود. در رژیم آبیاری I_2 و I_3 با توجه به حجم زیاد آب آبیاری در مقایسه با رژیم آبیاری I_1، تجمع سدیم در زمان‌های ۱۵۲ و ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری کاهش یافت. نتایج تأثیر آبشویی در هر یک از تیمارهای پژوهش بر میزان سدیم نشان می‌دهد

جدول ۳- تجزیه واریانس میزان EC_e، سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم بر پایه اطلاعات سه زمان نمونه‌گیری ۹۸ روز بعد از اولین آبیاری (دوره توسعه رشد)، ۱۵۲ روز بعد از اولین آبیاری (دوره میانی رشد) و ۲۰۸ روز بعد از اولین آبیاری (دوره پایانی رشد)

Table 3- Variance analysis of EC_e, sodium, magnesium, calcium and adsorption sodium ratio based on three time of sampling, 98 days after the first irrigation (Developement Stage), 152 days after the first irrigation (Middle Stage) and 208 days after the first irrigation (End Stage)

منابع تغییرات Sources of changes	درجه آزادی df	صفات مورد بررسی Characteristics examined				
		هدایت الکتریکی EC_e (dS/m)	سدیم Na (meq/lit)	منیزیم Mg (meq/lit)	کلسیم Ca (meq/lit)	نسبت جذب سدیم SAR
تکرار Rep.	2	1.3^{ns}	193.9 **	5.1 ^{ns}	1.3 ^{ns}	0.889 ^{ns}
زمان Time	1	84.4**	13414.2**	1015.3**	831.0**	84.786**
خطا Error	2	3.8	22.5	6.8	6.7	0.573
رژیم آبیاری Regime irrigation	2	36.7**	4042.3**	276.9**	190.8**	22.132**
عمق خاک Soil depth	2	75.1**	2185.1**	397.7**	30.5**	12.026**
عمق خاک* رژیم آبیاری Regime irrigation* Soil depth	2	8.5**	1267.6**	31.6**	9.1^{ns}	14.761**
رژیم آبیاری * زمان Regime irrigation* Time	2	87.1**	4773.0**	179.0**	48.1**	40.620**
عمق خاک* زمان Soil depth* Time	4	17.0**	593.3**	77.8**	23.9**	3.821**
عمق خاک* رژیم آبیاری* زمان Time* Regime irrigation* Soil depth	8	**52.1	1138.8**	93.8**	23.0**	8.314**
خطا Error	28	19.6	61.8	7.1	4.7	0.675
ضریب تغییرات CV%		6.8	10.9	11.2	6.8	11.5

**معنی‌دار در سطح ۱٪، * معنی‌دار در سطح ۵٪، ns: غیر معنی‌دار

** Significant level1%,* Significant level 5%, ns: Non-significant

جدول ٤- مقایسه میانگین‌های صفات مورد بررسی در سطوح مختلف زمان بعد از اولین آبیاری

Table 4- Averages comparison of examined characteristics at different levels of time after the first irrigation

زمان بعد از اولین آبیاری (روز) Time after the first irrigation (day)	صفات مورد بررسی Examined characteristics				
	هدایت الکتریکی EC_e (dS/m)	سدیم Na (meq/lit)	منیزیم Mg (meq/lit)	کلسیم Ca (meq/lit)	نسبت جذب سدیم SAR
98	12.9 ^{a}	116.8^{a}	83.4^{a}	53.1 ^{a}	12.1 ^{a}
152	10.5 ^{b}	72.6^{c}	28.0 ^{b}	42.1 ^{c}	8.7 ^{b}
208	11.3 ^{b}	89.5^{b}	83.8 ^{a}	49.0 ^{b}	9.5 ^{b}

* ۹۸ روز (دوره توسعه رشد)، ۱۵۲ روز: (دوره میانی رشد) و ۲۰۸ (دوره پایانی رشد)

* 98 day (Development stage), 152 day (Middle stage), 208 day (End stage)

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level

که آبشویی باعث کاهش میزان شوری، خاک شده است ولی در این دوره‌ها تأثیر آن در کاهش میزان سدیم خاک محسوس‌تر از شوری خاک و سایر املاح خاک بود که این ناشی از ضریب آبشویی بالا در ترکیبات سدیمی است که نتایج با سایر تحقیقات همخوانی دارد (۱۱). نتایج بیانگر مشاهده شدن کاهش این عنصر مضر در خاک تحت رژیم‌های آبیاری I_2 و I_3 بود که دلالت بر عملکرد بهتر این دو رژیم در خارج کردن سدیم از منطقه ریشه داشتند و در نهایت رژیم آبیاری I_2 به دلیل کاهش بیش‌تر میزان سدیم در مقابل حجم آب کاربردی کم‌تر و نیز بهتر عمل کردن در طول دوره رشد مناسب‌تر از رژیم آبیاری I_3 شناخته شد (جدول ۵).

تغییرات میزان منیزیم در رژیم آبیاری I_1 و I_2 مشابه با روند تغییرات میزان سدیم در خاک بود، اما در رژیم آبیاری I_3 نیز بالاترین میزان منیزیم در زمان ۹۸ و ۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری به ترتیب با مقادیر ۴۲/۵ و ۴۳/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مشاهده شد (جدول ۵). رژیم I_2 نسبت به رژیم I_1 و I_3 در کاهش تجمع میزان منیزیم موفق‌تر عمل کرد چرا که در رژیم آبیاری I_1، میزان منیزیم در مرحله پایانی رشد با افزایش روبرو بود و رژیم آبیاری I_3 هم هیچ تغییر معنی‌داری را در میزان منیزیم ایجاد نکرد و فقط رژیم آبیاری I_2 میزان عنصر منیزیم را در طول دوره رشد کاهش داد و این امر نشان‌دهنده مناسب بودن این تیمار در مقایسه با سایر تیمارها در جهت کاهش شوری خاک و ایجاد بستر مناسب برای رشد محصول است. از نتایج چنین برداشت می‌شود که اعمال بیش از حد مجاز آب نه تنها اثر مطلوبی بر خارج کردن املاح از منطقه ریشه ندارد بلکه ممکن است باعث تجمع املاح و آسیب رساندن به گیاه شود. هم‌چنین به جهت افزایش آب مصرفی می تواند منجر افزایش هزینه شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو طرفه رژیم آبیاری و زمان بعد از اولین آبیاری، عمق خاک و زمان بعد از اولین آبیاری بر میزان شوری (EC_e) سدیم (Na) ، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و نسبت جذبی سدیم (SAR)

Table 5- Averages comparison of bilateral interactions effects of irrigation regimes and time after the first irrigation، soil depths and time after the first irrigation on the amount of EC_e, sodium (Na), magnesium (Mg), calcium (Ca) and sodium adsorption ratio (SAR)

اثرات متقابل Interactions effects	تیمار Treatment		صفات مورد بررسی Characteristics examined: هدایت الکتریکی EC_e (dS/m)	سدیم Na (meq/lit)	منیزیم Mg (meq/lit)	کلسیم Ca (meq/lit)	نسبت جذب سدیم SAR
رژیم آبیاری و زمان بعد از اولین آبیاری Irrigation regime and time after the first irrigation	I_1	98	10.8^{de}	80.5^{cd}	31.0^{bc}	48.9^{cd}	9.0^{cd}
		152	9.7^{e}	74.9^{d}	26.8^{c}	40.8^{f}	9.1^{cd}
		208	11.4^{cd}	93.3^{bc}	39.8^{a}	49.9^{bc}	9.9^{bc}
	I_2	98	15.0^{a}	127.8^{a}	41.6^{a}	52.3^{a}	13.1^{a}
		152	11.1^{de}	74.1^{d}	27.0^{c}	40.8^{f}	9.0^{cd}
		208	9.9^{de}	66.5^{d}	33.2^{b}	46.5^{de}	7.4^{d}
	I_3	98	13.0^{b}	142.1^{a}	42.5^{a}	58.1^{a}	14.2^{a}
		152	10.7^{de}	86.8^{d}	30.1^{bc}	44.8^{e}	8.0^{d}
		208	12.7^{bc}	108.8^{b}	43.3^{a}	50.5^{bc}	11.1^{b}
عمق خاک و زمان بعد از اولین آبیاری Soil depth and time after the first irrigation	25	98	11.4^{bc}	106.6^{a}	35.1^{cd}	52.3^{ab}	11.3^{ab}
		152	10.2^{c}	72.3^{b}	27.3e	44.5^{cd}	8.6^{c}
		208	10.2^{c}	79.4^{b}	34.4^{cd}	49.6^{ab}	8.6^{c}
	50	98	13.0^{ab}	113.9^{a}	38.1^{bc}	53.6^{a}	11.8^{ab}
		152	10.1^{c}	73.0^{b}	26.9^{e}	40.0^{e}	9.0^{c}
		208	10.6^{c}	72.1^{b}	35.1^{cd}	47.0^{bc}	9.0^{c}
	75	98	14.5^{a}	129.9^{a}	41.9^{ab}	53.5^{a}	13.2^{a}
		152	11.1^{c}	72.5^{b}	29.6^{de}	41.5^{de}	8.6^{c}
		208	13.1^{ab}	107.1^{a}	46.7^{a}	50.3^{ab}	10.7^{bc}

* ۹۸ روز (دوره توسعه رشد)، ۱۵۲ روز: (دوره میانی رشد) و ۲۰۸ (دوره پایانی رشد)

* 98 day (Development stage), 152 day (middle stage), 208 day (End stage)

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level

رژیم I_1 در میزان کلسیم موجود در خاک که عنصری مفید محسوب می‌شود اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد و این تغییرات کم در آبشویی کلسیم ناشی از ضریب آبشویی پایین ترکیبات کلسیمی است، ولی رژیم‌های I_2 و I_3 باعث کاهش میزان کلسیم موجود در خاک شدند. بیش‌ترین مقدار کلسیم موجود در خاک متعلق به رژیم I_2 و I_3 به ترتیب به ترتیب برابر با ۵۲/۳ و ۵۸/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری و کم‌ترین مقدار این عنصر هم به رژیم I_1 و I_2 به ترتیب با مقادیر ۴۰/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در ۱۵۲ روز بعد از آبیاری اختصاص یافت (جدول ۵). با سپری شدن زمان طی فصل رشد، در مرحله پایانی رشد (۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری) نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) در رژیم آبیاری I_2 و I_3 میزان تجمع SAR با کاهش معنی‌داری روبه‌رو بود. همانند املاح شوری، سدیم و منیزیم، رژیم I_2 با کاهش معنی‌دار بیش‌تری در میزان SAR مواجه بود و بیانگر این است که این رژیم نسبت به رژیم‌های دیگر برتری دارد.

تغییرات میزان منیزیم در رژیم آبیاری I_1 و I_2 مشابه با روند تغییرات میزان سدیم در خاک بود، اما در رژیم آبیاری I_3 نیز بالاترین میزان منیزیم در زمان ۹۸ و ۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری به ترتیب با مقادیر ۴۲/۵ و ۴۳/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مشاهده شد (جدول ۵). رژیم I_2 نسبت به رژیم I_1 و I_3 در کاهش تجمع میزان منیزیم موفق‌تر عمل کرد چرا که در رژیم آبیاری I_1، میزان منیزیم در مرحله پایانی رشد با افزایش روبرو بود و رژیم آبیاری I_3 هم هیچ تغییر معنی‌داری را در میزان منیزیم ایجاد نکرد و فقط رژیم آبیاری I_2 میزان عنصر منیزیم را در طول دوره رشد کاهش داد و این امر نشان‌دهنده مناسب بودن این تیمار در مقایسه با سایر تیمارها در جهت کاهش شوری خاک و ایجاد بستر مناسب برای رشد محصول است. از نتایج چنین برداشت می‌شود که اعمال بیش از حد مجاز آب نه تنها اثر مطلوبی بر خارج کردن املاح از منطقه ریشه ندارد بلکه ممکن است باعث تجمع املاح و آسیب رساندن به گیاه شود و هم‌چنین به جهت افزایش آب مصرفی در مناطقی مانند منطقه مورد مطالعه که دارای آب و هوایی خشک و آب در دسترس کم است نیز ممکن است هزینه‌ها را نیز بالا ببرد.

رژیم I_1 در میزان کلسیم موجود در خاک که عنصری مفید محسوب می‌شود اختلاف معنی‌داری ایجاد نشد و این تغییرات کم در آبشویی کلسیم ناشی از ضریب آبشویی پایین ترکیبات کلسیمی است، ولی رژیم‌های I_2 و I_3 باعث کاهش میزان کلسیم موجود در خاک شدند. بیش‌ترین مقدار کلسیم موجود در خاک متعلق به رژیم I_2 و I_3 به ترتیب به ترتیب برابر با ۵۲/۳ و ۵۸/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در زمان ۹۸ روز پس از اولین آبیاری و کم‌ترین مقدار این عنصر هم به رژیم I_1 و I_2 به ترتیب با مقادیر ۴۰/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در ۱۵۲ روز بعد از آبیاری اختصاص یافت (جدول ۵). با سپری شدن زمان طی فصل رشد، در مرحله پایانی رشد (۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری) نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) در رژیم آبیاری I_2 و I_3 میزان تجمع SAR با کاهش معنی‌داری روبه‌رو بود. همانند املاح شوری، سدیم و منیزیم، رژیم I_2 با کاهش معنی‌دار بیش‌تری در میزان SAR مواجه بود و بیانگر این است که این رژیم نسبت به رژیم‌های دیگر برتری دارد.

اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری، عمق خاک و مراحل مختلف رشد بر تغییرات املاح خاک

با سپری شدن زمان طی فصل رشد، در رژیم آبیاری I_1 و در عمق ۲۵ سانتی‌متری میزان EC_e در مرحله پایانی رشد نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) افزایش پیدا کرد و در اعماق ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. در رژیم آبیاری I_2 در هر سه عمق خاک میزان EC_e در مرحله پایانی رشد نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز بعد از اولین آبیاری) با کاهش معنی‌دار روبرو بود و در رژیم آبیاری I_3 در اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی متری میزان EC_e در مرحله پایانی رشد (۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری) نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) کاهش و در عمق ۷۵ سانتی‌متری افزایش معنی‌داری داشت (جدول ۶). هم‌چنین نتایج بیانگر این موضوع است که با گذر زمان در طی فصل رشد تنها در رژیم آبیاری I_2 و در هر سه عمق خاک در مرحله پایانی رشد (۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری) نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) با کاهش مقدار EC_e روبه‌رو بود.

از نظر میزان سدیم در رژیم آبیاری I_1 و در عمق خاک ۲۵ سانتی‌متری بین زمان ۹۸ و ۱۵۲ روز اختلاف معنی‌داری به وجود نیامد اما در زمان ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۹۸ و ۱۵۲ روز افزایش معنی‌دار نشان داد. در اعماق خاک ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری میزان سدیم در زمان ۱۵۲ روز نسبت به زمان ۹۸ روز کاهش معنی‌داری یافت و زمان ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۱۵۲ روز با افزایش روبرو بود. به طورکلی در رژیم آبیاری I_2 در هر یک از اعماق خاک با افزایش زمان میزان سدیم کاهش یافت ولی در عمق خاک ۲۵ سانتی‌متری بین سطوح زمان ۱۵۲ و ۲۰۸ روز اختلاف معنی‌دار نبود و در رژیم آبیاری I_3 در اعماق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متری میزان سدیم در مرحله پایانی رشد نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیاری) کاهش و در عمق ۷۵ سانتی‌متری افزایش معنی‌دار داشت. در رژیم آبیاری I_1 بیشترین میزان تجمع منیزیم در زمان ۲۰۸ روز بعد از اولین آبیاری و در مرحله پایانی رشد به زمان ۹۸ و ۱۵۲ روز بعد از اولین آبیاری مشاهده شد (جدول ۶).

در طی فصل رشد، در رژیم آبیاری I_1 و در هر سه عمق خاک

میزان منیزیم افزایش معنی‌داری یافت ولی تغییرات در کاهش میـزان منیزیم در مرحله پایانی رشد (۲۰۸ روز پس از اولین آبیاری) نسبت به مرحله توسعه رشد (۹۸ روز پس از اولین آبیـاری) در رژیـم آبیـاری I_2 چشمگیرتر بود. در رژیم آبیاری I_3 در اعمـاق خـاک ۲۵ و ۵۰ سـانتی متری میزان منیزیم در مرحلـه پایـانی رشـد (۲۰۸ روز پـس از اولـین آبیاری) نسبت به مرحله توسعه رشـد (۹۸ روز پـس از اولـین آبیـاری) کاهش و در عمق ۷۵ سانتی‌متری افزایش معنی‌داری داشـت (جـدول ۶). در رژیم آبیاری I_1، در هر یک از اعمـاق خـاک میـزان کلسـیم در مرحله میانی رشد (زمان ۱۵۲ روز) نسبت به مرحله توسعه رشد (زمان ۹۸ روز) دارای کاهش معنی‌دار بود. در رژیم آبیاری I_2 در اعماق خاک ۲۵ و ۵۰ سـانتی‌متـری، زمـان ۲۰۸ روز نسـبت بـه زمـان ۹۸ روز بـا افزایش میزان کلسیم مواجه بود. در رژیم آبیاری I_3 و در عمق خـاک ۲۵ سانتی‌متری کم‌ترین میزان کلسیم در زمان‌هـای ۱۵۲ و ۲۰۸ روز مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ٦- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل سه‌طرفه رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان بعد از اولین آبیاری بر میزان شوری (EC_e) سدیم (Na) ، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و نسبت جذبی سدیم (SAR)

Table 6- The three-way interactions effects of irrigation regimes, soil depth and time after the first irrigation on the amount of EC_e, sodium (Na), magnesium (Mg), calcium (Ca) and sodium adsorption ratio (SAR)

رژیم آبیاری Irrigation regime	عمق نمونه‌گیری Soil depth (cm)	زمان بعد از اولین آبیاری* Time after the first irrigation	صفات مورد بررسی Characteristics Examined				
			هدایت الکتریکی EC_e (dS/m)	سدیم Na (meq/lit)	منیزیم Mg (meq/lit)	کلسیم Ca (meq/lit)	نسبت جذب سدیم SAR
I_1	25	98	9.9^{lm}	67.6^{hi}	29.3^{hi}	46.3^{gh}	8.1^{hi}
		152	9.1^{o}	67.6^{hi}	22.8^{m}	43.0^{ij}	9.5^{ef}
		208	11.1^{hi}	96.5^{fg}	37.3^{de}	51.1^{cd}	10.2^{e}
	50	98	10.9^{hi}	91.3^{fg}	29.8^{hi}	50.8^{de}	10.1^{e}
		152	9.4^{no}	76.9^{hi}	23.0^{lm}	83.6^{l}	9.7^{ef}
		208	11.3^{gh}	90.3^{g}	35.9^{ef}	45.9^{gh}	10.0^{e}
	75	98	11.8^{ef}	79.5^{h}	33.9^{fg}	49.7^{ef}	8.7^{ef}
		152	10.5^{ij}	70.9^{ij}	33.6^{fg}	40.8^{jk}	8.2^{hi}
		208	11.9^{ef}	93.1^{fg}	46.1^{bc}	52.8^{c}	9.3^{fg}
I_2	25	98	12.1^{ef}	117.5^{e}	37.3^{de}	52.3^{cd}	12.4^{d}
		152	11.3^{gh}	76.9^{hi}	27.3^{jk}	39.7^{kl}	9.4^{ef}
		208	9.6^{mn}	69.7^{ij}	34.8^{ef}	47.8^{fg}	7.7^{ij}
	50	98	14.6^{c}	99.9^{f}	39.8^{d}	53.4^{c}	10.3^{e}
		152	10.1^{kl}	66.6^{jk}	26.3^{kl}	39.3^{l}	8.3^{hi}
		208	9.0^{o}	59.8^{l}	29.8^{hi}	45.9^{gh}	6.8^{k}
	75	98	18.3^{a}	166.0^{a}	47.8^{b}	51.3^{cd}	16.7^{a}
		152	11.8^{ef}	78.8^{h}	27.3^{jk}	43.5^{hi}	9.4^{fg}
		208	11.0^{hi}	69.9^{ij}	35.1^{ef}	45.8^{gh}	7.7^{jk}
I_3	25	98	12.3^{e}	131.8^{d}	38.8^{d}	58.3^{ab}	13.4^{c}
		152	10.2^{jk}	63.1^{kl}	31.9^{gh}	50.8^{de}	6.9^{k}
		208	10.0^{lm}	72.0^{hi}	31.2^{gh}	50.0^{de}	8.0^{ij}
	50	98	13.6^{d}	150.4^{c}	44.7^{c}	56.6^{b}	15.0^{b}
		152	10.9^{hi}	75.6^{hi}	30.6^{hi}	42.2^{ij}	8.9^{gh}
		208	11.5^{fg}	96.1^{fg}	39.6^{d}	49.1^{ef}	10.2^{e}
	75	98	13.3^{d}	144.2^{c}	43.9^{c}	59.6^{a}	14.2^{bc}
		152	11.0^{hi}	67.8^{jk}	27.9^{ij}	41.5^{jk}	8.2^{hi}
		208	16.5^{b}	158.2^{b}	59.1^{a}	52.3^{cd}	15.0^{b}

* ۹۸ روز (دوره توسعه رشد)، ۱۵۲ روز: (دوره میانی رشد) و ۲۰۸ (دوره پایانی رشد)

* 98 day (Development stage), 152 day (Middle stage), 208 day (End stage)

اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

Numbers with non-like characters have a significant difference at 1% level

در رژیم آبیاری I_1 در عمق خاک ۲۵ سانتی‌متری در مرحله پایانی رشد نسبت به زمان ۹۸ روز بعد از اولین آبیاری بالاترین میزان SAR مشاهده شد ولی در رژیم آبیاری I_2 روند تغییرات متفاوت با رژیم آبیاری I_1 بود و با افزایش زمان میزان SAR به‌طور معنی‌داری در مرحله پایانی رشد کاهش یافت. در رژیم آبیاری I_3 در هریک از اعماق خاک میزان SAR در زمان ۱۵۲ روز نسبت به زمان ۹۸ روز دارای کاهش معنی‌دار و زمان ۲۰۸ روز نسبت به زمان ۱۵۲ روز دارای افزایش معنی‌دار بود. نتایج نشان داد که رژیم آبیاری I_2 موفق‌تر از دو رژیم دیگر عمل کرد و تا فصل رشد بعدی که از بهار شروع می‌شود نسبت جذب سدیم کم‌تری را در خاک ذخیره کرده و اثرات زیان‌آور آن را تعدیل می‌نماید.

نتیجه‌گیری

اعمال آبشویی باعث کاهش میزان SAR در انتهای فصل رشد نسبت به ابتدای فصل رشد گردید و این کاهش در میزان SAR در اثر اعمال آبشویی در رژیم آبیاری I_2 که تأمین آب آبیاری بر اساس نیاز آبی گیاه بود، بیشتر بوده و نسبت به دو رژیم آبیاری دیگر موفق‌تر عمل کرد. لذا رژیم آبیاری I_2 تا شروع فصل رشد بعدی که از بهار شروع می‌شود میزان SAR کم‌تری را در خاک ذخیره کرده که می تواند اثرات زیان‌آور آن را تعدیل کند. میزان EC_e در طول فصل رشد روند کاهشی داشت و فرایند آبشویی در پروفیل خاک مشاهده شد. رژیم آبیاری I_2 بهترین شرایط را در دور ساختن میزان تجمع شوری و انتقال آن به اعماق پایین‌تر دارا بود. میزان املاح سدیم موجود در خاک در طول فصل رشد با اعمال آبشویی در حال کاهش بود. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی که خاک به‌طور کامل اشباع نمی‌شود، این نتیجه‌گیری دارای اهمیت است. با توجه به نتایج، رژیم آبیاری I_2 با کاهش معنی‌دار مقدار سدیم و منیزیم موجود در خاک در طی فصل رشد دارای کارایی بهتر و مناسب‌تری است. کاهش میزان کلسیم هم که عنصری مفید است را می‌توان به این موضوع نسبت داد که کلسیم اضافه شده به خاک توسط آبیاری، جایگزین سدیم و منیزیم شده است و اثر این عناصر را تعدیل نموده است. این روند در خصوص نسبت جذب سدیم نیز مشاهده شد. بنابر این پیشنهاد می‌شود در یک مزرعه تجهیز شده به سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آب آبشویی در انتهای فصل و به‌صورت آبیاری سطحی و یا آبیاری قطره‌ای سنگین انجام شود. چون کاربرد آب آبیاری بیش از نیاز گیاه و به عنوان آب آبشویی تنها منجر به ورود بیشتر املاح به خاک می‌شود.

سپاسگزاری

اطلاعات ارائه شده در این مقاله نتایج پروژه پژوهشی با عنوان "شاخص‌های طراحی، اجرا و مدیریت در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ارزیابی آن در باغات سمنان" است که با حمایت مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی به اجرا رسیده است. همچنین از شرکت بنیز تجهیز که بستر این پژوهش را در مزرعه الگویی آن شرکت فراهم کرده است و همکاری صمیمانه و دلسوزانه مدیر مزرعه تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1- Aga Khani AS. 2005. Effect of salinity of irrigation water and soil leaching on wheat yield. Irrigation and Drainage Master's thesis, Faculty of Agriculture, Technology University of Isfahan. (In Persian with English abstract)
2- Alizadeh A. 1388. Drip irrigation (principles and operations). Second edition. Imam Reza University Press, 92-238. (In Persian)
3- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, 300(9): D05109.
4- Ayers R.S., and Westcot D.W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy, 29: 1-117.
5- Behbahanizadeh Rezaeian Z., Pazira E., Panahpour E., and Zohrabi N. 2017. Comparison of different methods of leaching of soluble salts from the profile of saline and sodium salts. Journal of Water Science and Engineering, 7(15): 79– 93. (In Persian with English abstract)
6- Corwin D.L., Rhoades J.D., and Simunek J. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: steady-state versus transient models. Agricultural Water Management, 90(3): 165-180.
7- Cote C.M., Bristow K.L., and Ross P.J. 2000. Increasing the efficiency of solute leaching. Soil Science Society of America Journal, 43: 1100-1106.
8- Farshi A. A., Shariati M. H., Jarollahi R., Ghaemi M. H., Shabifar M., and Tolaei MM. 1997. Estimated water requirement major plants agricultural and horticultural of country. Soil and Water Research Institute, Publication of Agriculture Education in Karaj, 394p. (In Persian)
9- Feizi M. 1993. The effects of water quality and quantity on soil salinization of Rudasht Zone of Isfahan restrict.

Journal of Soil and Water, 8: 16–34. (In Persian with English abstract)
10- Feyzi M. 1998. Investigating the effects of different salting water management on cotton yield. Agricultural Research Center, Esfahan, Final report, 1-18. (In Persian with English abstract)
11- Feizi M. 2012. Effect of water quality and management on soil chemical properties. Soil Research (Soil and Water Science), 27(2): 239–252. (In Persian with English abstract)
12- Flagella Z., Giuliani M. M., Rotunno T., Di Caterina R., and De Caro A. 2004. Effect of saline water on oil yield and quality of a high oleic sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrid. European Journal of Agronomy, 21: 267-272.
13- Ganjegunte G.K., Leinauer B., Schiavon M., and Serena M. 2013. Using electro-magnetic induction to determine soil salinity and sodicity in turf root zones. Agronomy Journal, 105: 836–844.
14- Garcia-Sanchez F., Carvajal M., Porras I., Botıa P., and Martınez V. 2003: Effects of salinity and rate of irrigation on yield, fruit quality and mineral composition of 'Fino 49' lemon. European Journal of Agronomy, 19: 427–437.
15- Ghassemzadeh Mojaveri F. 1990. Evaluation of irrigation systems of farms. Mashhad: Astan Quds Razavi. Bhnshr company, 329p. (In Persian)
16- Hosseini Nia M., Hasanpour F., Naghavi H., and Abbasi F. 2017. Comparative effects of chemical amendments on salt leaching from a saline-sodic soil in Kerman under laboratory condition. Journal of Soil Management and Sustainable, 7(2): 119– 134. (In Persian with English abstract)
17- Jones A., Panagos P., Barcelo S., Bouraoui F., Bosco C., Dewitte O., Gardi C., Hervás J., Hiederer R., and Jeffery S. 2012. The state of soil in Europe -a contribution of the JRC to the European environment agency's environment state and outlook R- SOER 2010.
18- Kaya C., Higges D., and Kimak H. 2001. The effects of high salinity and supplementary Phosphorus and Potassium on physiology and Nutrition development of spinach. Bulgarian Journal of Plant Physiology, 27: 47-59.
19- Konukcu F., Gowing G.W., and Rose D.A. 2005. Dry Drainage: a sustainable solution to water logging and salinity problems in irrigation areas. Agricultural Water Management, 83(1): 1-12.
20- Kosari H. 2009. Evaluation of soil surface energy balance to estimation of evapotranspiration and its components in surface and sub-surface drip irrigation systems. Irrigation and Drainage Master's thesis, University of Tehran. (In Persian with English abstract)
21- Landi A. 1993. Investigating the effect of irrigation water quality and leaching ratio on drainage quality and distribution of salt in soil profile. Irrigation and Drainage Master's thesis, Faculty of Agriculture, Technology University of Isfahan (In Persian with English abstract)
22- Li F.H., and Keren R. 2009. Calcareous sodic soil reclamation as affected by corn stalk application and incubation: A laboratory study. Pedosphere, 19: 465-475.
23- Mostafazadeh-Fard B., Heidarpour M., Aghakhani A., and Feizi M. 2008. Effects of leaching on soil desalinization for wheat crop in an arid region. Plant Soil and Environment, 54(1), p.20.
24- Oron G., Demalach Y., Gillerman L., David I., and Rao V.P. 1999. Improved saline-water use under subsurface drip irrigation. Agricultural Water Management, 39: 19–33.
25- Rodrigues da Silveria K., Rosas Ribeiro M., Bezerra de Oliveira L., John Heck R., and Rodrigues da Silveira R. 2008. Gypsum-saturated water to reclaim alluvi saline-Sodic and Sodic soils. Scientia Agricola, 65: 69-76.
26- Sayyari N., Ghahraman B., and Davari K. 2007. Study of soil cations under substrate drip irrigation system (SDI) in Rafsanjan Pistachio garden with saline water. Science and Agriculture Industry, 21(1): 43-56. (In Persian with English abstract)
27- Schiavon M., Leinauer B., Serena M., Maier B., and Sallenave R. 2014. Plant growth regulator and soil surfactants' effects on saline and deficit irrigated warm-season grasses: I. Turf quality and soil moisture. Crop Science, 54(6): 2815-2826.
28- Taheri M., Abbasi M., Mostafavi K., and Vahedi S. 2016. Patterns of soil salinity and sodium under surface and subsurface drip irrigation in olive trees. Journal of Water and Irrigation Engineering, 7(26): 127-141. (In Persian with English abstract)
29- Tóth G., Montanarella L., and Rusco E. 2008. Threats to soil quality in Europe. EUR 23438 EN. Institute for Environment and Sustainability, Land Management and Natural Hazards Unit, Office for the Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 162p.
30- Wang S., Feng Q., Zhou Y., Mao X., Chen Y., and Xu H. 2017. Dynamic changes in water and salinity in saline-alkali soils after simulated irrigation and leaching. PloS one, 12(11), p.e0187536.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 5, Nov.-Des. 2018, p. 879-890

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۷، ص. ۸۹۰-۸۷۹

Effect Leaching Management on the Salinity Changes in the Drip Irrigation System (A Case Study: Semnan)

H. Dehghanisanij[1]*- H. Haji Agha Bozorgi[2]- A.A. Ghaemi[3]- M. Noshadi[4]

Received: 23-04-2018
Accepted: 29-07-2018

Introduction: The main problem of salinity, in addition to reducing agricultural and horticulture products is the gradual decline of their cultivation area. Several factors such as climate and irrigation (precipitation, fraction of leaching), soil type and soil salinity, salinity of irrigation water, uniform distribution of the system and irrigation with saline water affects the soil salinity changes. Therefore, in irrigated agriculture, soil salinity should be reduced and controlled to an optimal level of the economic production. Leaching with proper irrigation management is one of the effective ways to reduce soil salinity.

Materials and Methods: The study was conducted during 2012-2013 in as pistachio garden located in the Safaeieh region of Semnan province. The garden was 100 ha and 2 ha of that was selected for this study with 10 years old pistachio trees equipped to subsurface drip irrigation system. The treatments of this study were three irrigation regimes; control (I_1), Irrigation based on irrigation requirement (I_2) and I_2 plus leaching requirement (I_3), three soil depth of 25, 50, and 75 cm from soil surface and time before and after irrigation. The drip line laterals include emitters with 2.26 lph flow rate was buried in 40 cm soil depth. Soil samples to evaluation salt concentration were collected from 25, 50, and 75 soil depth before and after irrigation. To study the impact of different irrigation regimes, soil depth and time (before and after irrigation) and also their bilateral impact a factorial design in randomize block was applied.

Results and Discussion: The results showed that ECe and SAR accumulation decreased after development, growth stage and continued to end growth stage. The results showed that I2 and I3 irrigation regimes were more effective in reducing the amount of sodium from the root zone and the I2 irrigation regime showed better performance in comparison to I3 irrigation regime. Regarding the amount of magnesium in the soil, the I2 irrigation regime was more successful than the I1 and I3 regimens. In I1 irrigation regime, the amount of magnesium at the end growth stage increased compared to the beginning growth stage. Significant decrease in ECe level at the end growth stage compared to the beginning growth stage belonged to the I2 irrigation regime, which suggests that I2 irrigation regime was more successful in ECe leaching during the period of pistachio growth, which attributed to the potential for leaching from the soil surface to the depths below the soil surface. The results showed that excessive water application under saline conditions for any reason, such as leaching not only does not have a beneficial effect on the removal of salts from the root zone, but also may lead to accumulation of salts and damage to the plant. The highest amount of calcium in the soil was recorded 98 days after the first irrigation under the I2 and I3 irrigation regimes which was 52.5 and 58.1 Meq/l, respectively. The lowest amount of this element The I1 and I2 regimens were 40.8 meq/l, respectively, which were recorded in 152 days after the first irrigation. In terms of SAR, the lowest value in the I2 regime was more noticeable than other irrigation regimes. The effects of soil depth of time after the first irrigation showed that there was no significant difference at the depth of 25 cm and 75 cm at the end growth stage compared with the valued recorded in beginning growth stage, but at a depth of 50 cm there was a significant reduction in ECe. The highest ECe value equaled to 14.5 dS/m was recorded at a depth of 75 cm in 98 days after first irrigation. In the I1 irrigation regime at all three depths of 25, 50 and in the I3 irrigation regime at a depth of 75 cm the amount of SAR at the end growth stage were not less than that in beginning growth stage, however, the reduction in SAR was recorded in the I2 irrigation regime at all three depths.

Conclusions: Irrigation regime I2 was successful to control the SAR in different soil depth compared to the other two irrigation regimes, which is very important for the next irrigation season to moderate the harmful effects on blossoms. Moreover, it is suggested that in a field, equipped with a subsurface drip irrigation system, leaching water at the end of the season by surface irrigation or heavy subsurface drip irrigation during the rainfall to leach out the accumulated salt to lower soil layers.

Keywords: Irrigation management, Pistachio, Saline soil, Salt accumulation, SAR, Soil depth

1- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Alborz, Iran
(*- Corresponding Author Email: h.dehghansanij@areeo.ac.ir)
2, 3 and 4- M.Sc. Student and Associate Professors, Faculty of Agriculture, Shiraz University