

## Investigation of Salt Accumulation in the Soil under a Subsurface Drip Irrigation System

HOSSEIN DEHGHANISANJ<sup>1\*</sup>, HAMIDREZA HAJI AGHA BOZORGI<sup>2</sup>, ALIASGHAR GHAEMI<sup>3</sup>, MASOUD NOSHADI<sup>4</sup>

1. Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran

2. Master of Science in Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

3. Associate Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

4. Associate Professor of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

(Received: April. 7, 2018- Revised: Sep. 28, 2018- Accepted: Oct. 2, 2018)

### ABSTRACT

Salt accumulation in the soil profile is a challenge for irrigated agriculture and the study of salt concentration and its variation in the soil profile under different irrigation systems and management is needed. In this study, Sodium, magnesium, calcium and SAR concentration were studied under three irrigation regimes; farmer management ( $I_1$ ), Irrigation requirement ( $I_2$ ) and  $I_2$  plus leaching requirement ( $I_3$ ) in Safaeyeh in Kerman during two cultivation years (1391-1392). According to the results sodium, magnesium, and SAR decreased after irrigation but calcium did not affect by irrigation time. In development growth period, the highest values of SAR, sodium and magnesium were found to be corresponded to 75, 50 and 75 cm soil depth, respectively. The highest values of sodium and magnesium in  $I_3$  treatment were 123.4 and 43.6 meq/lit which were corresponded to the soil depth of 75cm. The highest value of calcium in  $I_3$  treatment was correspond to the soil depth of 25cm which was 52meq/lit. The highest value of SAR (12.4) was belong to the soil depth of 75 cm which indicates calcium has moved upward and toward the emitter. The interaction effect of irrigation regimes, soil depth, and recording time (before and after irrigation) showed that the highest concentrations of sodium, magnesium and SAR were 131.8, 74.4 and 54.3 meq/lit respectively, which were belong to  $I_3$  and 75 cm soil depth before irrigation. The highest amount of SAR was 12.8 which were belonging to  $I_3$  treatment, too. Calcium variations in the soil under  $I_2$  and  $I_3$  irrigation regimes shows the important of irrigation management for salinity control. The results showed that  $I_2$  have better performance than the other irrigation regimes due to less salt accumulation and SAR values in the root zone.

**Keywords:** Irrigation management, leaching, pistachio, saline water, SAR

## بررسی تجمع املاح در خاک تحت سیستم قطره‌ای زیرسطحی

حسین دهقانی سانجی\*<sup>۱</sup>، حمیدرضا حاجی آقا بزرگی<sup>۲</sup>، علی اصغر قائمی<sup>۳</sup>، مسعود نوشادی<sup>۴</sup>

۱. دانشیار، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۲. کارشناس ارشد بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران

۳. دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران

۴. دانشیار بخش مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱/۱۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۷/۱۰)

### چکیده

با توجه به نقش مهم میزان شوری و تجمع املاح خاک در کشاورزی آبی، مطالعه تغییرات املاح خاک و نحوه توزیع آن‌ها در خاک در روش‌های مختلف آبیاری و مدیریت‌های آبیاری نیاز است. پژوهش حاضر با هدف بررسی توزیع املاح سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم در سه رژیم آبیاری منطبق بر مدیریت زارع ( $I_1$ )، نیاز آبی ( $I_2$ ) و نیاز آبی و آبشویی ( $I_3$ ) در منطقه صفائیه در استان سمنان در طی دو سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۱ اجرا شد. نتایج نشان داد که میزان سدیم، منیزیم و نسبت جذب سدیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری کاهش یافت ولی مقدار کلسیم موجود در خاک تحت تأثیر زمان آبیاری قرار نگرفت. در دوره توسعه رشد بالاترین مقادیر نسبت جذب سدیم، سدیم و منیزیم به ترتیب در اعماق ۷۵، ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری مشاهده شد. بالاترین میزان سدیم و منیزیم در رژیم آبیاری  $I_3$  و در عمق خاک ۷۵ سانتی‌متری به ترتیب با مقدار ۱۲۳/۴ و ۴۳/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مشاهده شد. بالاترین میزان کلسیم در رژیم آبیاری  $I_3$  در عمق ۲۵ سانتی‌متری و به میزان ۵۲ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مشاهده شد. بیشترین مقدار SAR در عمق ۷۵ سانتی‌متری به میزان ۱۲/۴ بود که نشان‌دهنده حرکت کلسیم به سمت بالا و زیر محل قرارگیری قطره‌چکان‌ها است. همچنین اثرات متقابل رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان آبیاری نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار سدیم، منیزیم و کلسیم به ترتیب با مقادیر ۱۳۱/۸، ۷۴/۴ و ۵۴/۳ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در تیمار آبیاری  $I_3$  در عمق ۷۵ سانتی‌متری و در زمان قبل از آبیاری مشاهده شد. بیشترین میزان نسبت جذب سدیم به مقدار ۱۲/۸ نیز متعلق به همین تیمار بود. تغییرات کلسیم در خاک تحت دو رژیم آبیاری  $I_2$  و  $I_3$  اهمیت مدیریت آبیاری را برای کنترل شوری نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که رژیم آبیاری  $I_2$  به دلیل تجمع کمتر میزان املاح سدیم و منیزیم در منطقه ریشه و کاهش بیشتر نسبت جذب سدیم نسبت به دو رژیم دیگر شرایط بهتری را دارا است.

واژه‌های کلیدی: آبشویی، آب‌های شور، پسته، مدیریت آبیاری، نسبت جذب سدیم

### مقدمه

محدودکننده رشد گیاهان است که میزان عملکرد محصولات زراعی و باغی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bybord, 2010; Shrivastava and Kumar, 2015). به‌طور کلی وجود املاح زیاد در خاک یا آب آبیاری، گیاه را با تنش شوری مواجه می‌سازد که صرف‌نظر از مکانیسم شورشدن خاک، به دلیل تجمع بیش از حد کاتیون‌ها و آنیون‌ها در محلول خاک، بروز می‌کند. این املاح در درجه اول شامل سدیم و کلر و سپس بی‌کربنات‌ها، سولفات‌ها، کلسیم، منیزیم، بر و به‌ندرت نیترات‌ها می‌باشند (Abel and Mackenzie, 1964; Abbaszadeh and Rezaei sukht abandani, 2012). تجمع املاح در نیمرخ خاک از مشکلات عمده مربوط به آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد که حتی در حالت استفاده از آب با کیفیت خوب، مقداری املاح به خاک منتقل شده و باعث افزایش تدریجی غلظت نمک در خاک می‌گردد (Burt et al., 2003). روش‌های آبیاری و مدیریت

ساختار خاک خوب، یکی از عناصر ضروری اکوسیستم‌های زراعتی سالم و پایدار است و این باعث رشد ریشه‌های گیاهی و استفاده مؤثر از آب و مواد مغذی می‌شود. برای یک خاک آلودگی، فرسایش، شوری، قلیابیت و مواد آلی خاک، مسائل مهمی هستند که باید مورد توجه قرار گیرند (Marandola and Coderoni, 2013). از این میان شوری و قلیابیت شدن خاک به‌عنوان یک روند عمده تخریب خاک که منجر به پراکندگی و تورم ذرات رس و در نتیجه کاهش نفوذ آب در خاک و هدایت هیدرولیکی می‌شود، شناخته شده است (Rhoades and Loveday, 1990). تنش شوری یکی از عوامل عمده محیطی و

\* نویسنده مسئول: dehghansanij@areeo.ac.ir

با سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی بهتر است و این الگوهای توزیع تا حدی می‌تواند واکنش درختان را به کاربرد آب شور توضیح دهند (Oron *et al.*, 1999).

زراعت پسته در کشور در شرایط آب‌و‌خاک شور و محدودیت منابع آبی انجام می‌شود. بر اساس استاندارد فائو ۲۹ سطح تحمل درختان پسته به شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب برابر با ۱/۱ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. این در حالی است که شوری آب آبیاری در بسیاری از باغات پسته کشور بیش از این مقدار بوده و لذا کشاورزان 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. لذا با توجه به نقش مهم میزان شوری در تجمع املاح خاک و اثرات آن بر عملکرد، مطالعه تغییرات املاح خاک و نحوه توزیع آن‌ها در روش‌های مختلف آبیاری و مدیریت-های آبیاری در شرایط مدیریت کشاورز و بخصوص شرایط خشک و نیمه‌خشک که با محدودیت آب آبیاری مواجه هستند اهمیت زیادی دارد. آگاهی از الگوی توزیع املاح خاک در منطقه توسعه ریشه، برای مدیریت صحیح منابع آبی محدود و کاهش تجمع املاح در خاک نیاز است. در این پژوهش با اعمال رژیم-های مختلف آبیاری وضعیت تجمع املاح سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم در عمق‌های مختلف خاک از منطقه توسعه ریشه درختان پسته تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیر-سطحی مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در طی دو سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۲ در باغی به وسعت ۱۰۰ هکتار در منطقه‌ی صفائیه، از توابع شهرستان سرخه در استان سمنان اجرا شد که قسمتی از این باغ با درختان مسن و مابقی با نهال‌های جوان پوشیده شده بود. اجرای پروژه در مساحتی حدود ۲ هکتار از این باغ که دارای درختان پسته با سن تقریبی ۱۰ سال بود انجام گرفت. این قطعه به سه قسمت تقسیم شد و سه تیمار مدیریت آبیاری در آن‌ها اعمال شد. آرایش درختان بر روی ردیف ۳ متر و بین ردیف ۷ متر بود. سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به مدت ۳ سال در باغ اجرا شده بود و مورد بهره‌برداری قرار می‌گرفت. به‌منظور تعیین مشخصات خاک قبل از مراحل آماده‌سازی زمین، نمونه‌گیری از اعماق ۰-۲۵، ۲۵-۵۰ و ۵۰-۷۵ سانتی-متری خاک انجام شد. مشخصات خاک منطقه مورد مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

مناسب آن‌ها نقش مهمی را در ساختار مناسب خاک از لحاظ املاح موجود در خاک، ارتقاء بهره‌وری اراضی کشاورزی و نقش آن در رشد گیاه و ماهیت تنش شوری در ساختار خاک دارند (Murray and Grant, 2007). در این میان سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI<sup>۱</sup>) نسبت به سایر روش‌های آبیاری به دلیل کاهش تبخیر سطحی از خاک کارایی بالاتری را در کنترل شوری و سایر املاح موجود در خاک دارد (Amente *et al.*, 2000). طراحی و مدیریت صحیح آبیاری قطره‌ای زیرسطحی تا حد زیادی خطرات ناشی از شوری آب را کاهش می‌دهد، با این حال مسئله شوری در این آبیاری نباید نادیده گرفته شود. در رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک جنوب تونس، کمترین تجمع مقدار شوری در زیر قطره‌چکان و بیشترین مقدار آن در حاشیه پیاز رطوبتی گزارش شده است (Nagaz *et al.*, 2007). میزان تجمع املاح در عمق‌های مختلف خاک برای مدیریت‌های مختلف آبیاری و بافت خاک متفاوت است. میزان تجمع شوری و سدیم در عمق‌های مختلف خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در عمق نصب ۳۰ سانتی‌متری از سطح خاک در باغات زیتون کمتر از سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی گزارش شده است (Taheri *et al.*, 2016). کمتر بودن میانگین کلی تجمع شوری در خاک در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی نسبت به آبیاری قطره‌ای سطحی در محصولات زراعی ردیفی در کالیفرنیا بدست آمد (Burt *et al.*, 2003). همچنین کاهش میزان تجمع نمک در نزدیک قطره‌چکان‌ها و تجمع کمتر در اعماق پایین‌تر از سطح خاک در فواصل لاترال‌ها در باغ مرکبات تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در منطقه راجستان هند گزارش شد (Beniwal *et al.*, 2006). کاهش تجمع املاح نمک در منطقه ریشه گیاهان تحت سیستم SDI در محصولات مختلف زراعی و ردیفی از جمله گوجه‌فرنگی (Hanson and May, 2004)، پیاز (Enciso *et al.*, 2007)، پنبه (DeTar, 2007)، لوبیا (Gençoğlan *et al.*, 2006)، سیب‌زمینی (Patel and Rajput, 2008) و ذرت (Payero *et al.*, 2008) مشاهده شده است. میزان تجمع کمتر املاح نمک از جمله SAR، سدیم، کلسیم و منیزیم خاک در عمق نصب ۶۰ سانتی‌متر در مقایسه با عمق نصب ۳۰ سانتی‌متر برای باغات پسته گزارش شد که این تغییرات روندی مشابه با روند تغییرات شوری را در خاک داشت (Sayyari *et al.*, 2007). توزیع رطوبت و شوری تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با توجه به الگوی مناسب ریشه در خاک، در مقایسه

جدول ۱- مشخصات فیزیکی خاک

عمق خاک (cm)	بافت خاک	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)	جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm <sup>3</sup> )	رطوبت وزنی در حد ظرفیت زراعی (%)	رطوبت وزنی در حد پژمردگی دائم (%)
۰-۲۵	لوم‌شنی	۶	۸۱	۱۳	۱/۶۲	۱۱/۸۵	۴/۳۹
۲۵-۵۰	لوم‌شنی	۴	۷۷	۱۹	۱/۵۶	۱۱/۹۷	۵/۱۲
۵۰-۷۵	لوم‌شنی	۴	۸۱	۱۵	۱/۵۵	۱۲/۸۸	۵/۵۲

آب در مزرعه از شاخص‌های ضریب یکنواختی کریستیانسن (CU) و ضریب یکنواختی پخش آب مزرعه (DU) استفاده شد (معادله ۱ و ۲). اطلاعات موردنیاز برای محاسبه CU و DU در تاریخ ۱۰ خرداد در مزرعه اندازه‌گیری و با استفاده از معادلات ۱ و ۲ مقدار آنها به ترتیب ۹۶/۷ و ۹۵/۱ درصد بدست آمد که عالی درجه‌بندی می‌شود (Ghassemzadeh Mojaveri, 1990).

$$CU = 100 \times \left(1 - \frac{\sum |Q_1 - Q_{avel}|}{\sum Q_1}\right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$DU = (1.6 CU - 60) \quad (\text{رابطه ۲})$$

نمونه‌برداری‌هایی از دو حلقه چاه برای تعیین خصوصیات شیمیایی آن به لحاظ بررسی کل املاح محلول در آب TDS، EC، pH، کلسیم، سدیم، منیزیم انجام گردید که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

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 ۱۵۰۰-۱۶۰۰ مترمکعب جمع-آوری و توسط پمپ در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مستقر در باغ پمپاژ می‌شد. سیستم پمپاژ مجهز به سیستم فیلتراسیون از نوع اسکن فیلتر بود. سیستم آبیاری قطره‌ای زیر-سطحی باغ از نوع لوله‌های قطره‌چکان‌دار داخل خط (in-line) شرکت یورودریپ بود که در عمق ۴۰ سانتی‌متری نصب شده بودند. قطره‌چکان‌های این لوله‌ها از نوع تنظیم‌کننده فشار، با فاصله ۸۰ سانتی‌متری و آبدهی ۲/۲۶ لیتر در ساعت بود. لوله‌های قطره‌چکان‌دار در فاصله یک متر از درخت و با آرایش دو ردیفه قرار گرفته بودند. به‌منظور اطمینان از یکنواختی پخش

جدول ۲ - خصوصیات شیمیایی و کیفی آب آبیاری

چاه	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	Cl <sup>-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	SAR	pH	EC	TDS	LSI
۱	۲۷/۲	۱۷/۹	۴۲/۲	۰/۶۲	-	۴۹	۲/۲۵	۳۵/۸	۸/۸۸	۷/۱۶	۷/۹۵	۵۰۷۰	۰/۳۶۱
۲	۲۶/۳	۱۶/۸	۲۴/۱	۰/۵۱	-	۲۷/۵	۲/۶۵	۳۷/۰۵	۵/۲	۷/۱۷	۶/۱۰	۳۸۹۰	۰/۴۳۲

آبیاری برحسب دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. مقدار K برای آب-های با EC زیاد، بیشتر از ۶۴۰ می‌باشد که در این حالت بهتر است TDS اندازه‌گیری شود.

همچنین نسبت جذب سدیم برحسب جذر میلی‌اکی‌والان بر لیتر (meq/lit)<sup>1/2</sup> با توجه به رابطه (۴) بدست آمد:

$$SAR = \frac{[Na]}{\sqrt{[Ca] + [Mg]}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

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 برای رسیدن به اهداف پژوهش سه رژیم آبیاری در قطعه آزمایشی اعمال گردید که به شرح زیر می‌باشند:

- رژیم آبیاری I<sub>1</sub> - در این رژیم، آبیاری طبق مدیریت زارع صورت گرفت و حجم آب داده‌شده، زمان آبیاری و دور آبیاری آن ثبت گردید.

برای مجموع مقدار یون‌های کلسیم و منیزیم نمونه‌های خاک از روش تیتراسیون استفاده شد. اندازه‌گیری کلسیم نمونه-های خاک نیز از این روش محاسبه شد با این تفاوت که پس از افزودن ۳ سی‌سی بافر آمونیاکی برای بالا بردن pH و ترسیب منیزیم ۳ سی‌سی سود ۴ نرمال هم افزوده شد. مقدار سدیم در عصاره اشباع نیز به روش شعله‌سنجی با استفاده از دستگاه فلیم‌فتومتر در سری استانداردهای ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ قرائت شد. درنهایت با توجه به منحنی استاندارد ترسیم‌شده غلظت سدیم محلول محاسبه گردید. قابلیت هدایت الکتریکی خاک (EC<sub>e</sub>) با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج اندازه‌گیری شد. اسیدیته (pH) به وسیله دستگاه pH متر اندازه‌گیری شد. مقدار کل نمک‌های محلول (TDS) با توجه به رابطه (۳) محاسبه شد:

$$TDS = K \times EC \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه TDS برحسب میلی‌گرم در لیتر و EC آب

از رابطه‌ی (۶) به دست آمد:

$$dg = \frac{dn}{Ea} \quad (\text{رابطه ۶})$$

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 تیمار ۲ و ۳ میزان آب آبیاری محاسبه و با استفاده از کنتور حجمی اعمال گردید. حجم کل مقدار آب آبیاری (dg) با دور آبیاری یک روز در میان (F) در تیمارهای رژیم آبیاری I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> به ترتیب برابر ۶۲۵۴/۲۹، ۹۲۹۰/۷۹ و ۱۰۶۸۲/۲۴ متر-مکعب در هکتار بود.

نمونه‌گیری از خاک در سه عمق ۲۵، ۵۰، ۷۰ سانتی‌متری از سطح خاک قبل از آبیاری و ۲۴ ساعت بعد از آبیاری برای هر رژیم آبیاری انجام شد. ولی چون امکان نمونه‌گیری از بین همان دو درخت و محل‌هایی که قبل از آبیاری نمونه‌گیری شده بودند نبود، نمونه‌های بعد از آبیاری از بین دو درخت دیگر برداشت گردید. پس می‌توان گفت برای هر رژیم آبیاری ۳ درخت لازم بود (شکل ۲). برای یک رژیم آبیاری قبل از آبیاری ما بین درخت ۱ و ۲ نمونه‌گیری انجام شد و ۲۴ ساعت بعد از آبیاری نمونه‌گیری بین درختان ۲ و ۳ انجام شد.

#### رسم منحنی‌های هم SAR

برای رسم منحنی‌های هم SAR از نرم‌افزار Golden surfer8 استفاده گردید. این نرم‌افزار قابلیت میانگین‌گیری به روش‌های مختلف را دارا می‌باشد که در این تحقیق از روش میانگین‌گیری kriging استفاده گردید.

#### آنالیزهای آماری در بررسی املاح سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم

به‌منظور بررسی اثرات مختلف تیمارهای رژیم آبیاری، عمق خاک، زمان (قبل و بعد از آبیاری) و نیز اثرات متقابل آن‌ها بر صفات موردبررسی، از طرح آزمایشی فاکتوریل در کرت‌های خردشده استفاده شد، به‌طوری‌که تیمار زمان (قبل و بعد از آبیاری) به‌عنوان تیمار اصلی و سطوح آبیاری و عمق خاک به‌عنوان فاکتوریل (تیمار فرعی) در سه تکرار مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در آبیاری قطره‌ای 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. به‌منظور آنالیزهای آماری از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ استفاده گردید و همچنین مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی و نیز اثرات متقابل به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن (DMRT) انجام گردید.

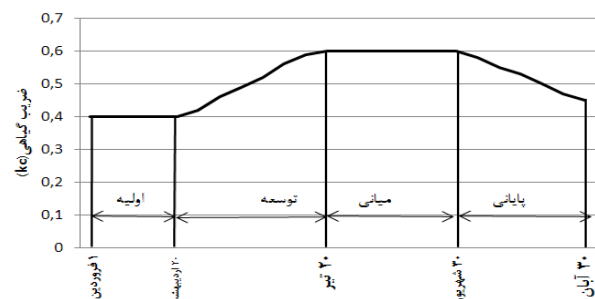
- رژیم آبیاری I<sub>2</sub> - در این رژیم، از داده‌های بهنگام هواشناسی مزرعه (داده‌های روزانه) برای محاسبه تبخیر و تعرق (روش پنمن - مانیت) استفاده شد و با استفاده از تبخیر و تعرق، حجم آب آبیاری و زمان آبیاری مشخص شد، البته دور آبیاری قطعه آزمایش همان دور آبیاری تیمار I<sub>1</sub> بود و تنها ساعت آبیاری تغییر کرد.

- رژیم آبیاری I<sub>3</sub> - که در واقع همان میزان حجم آب موردنیاز محاسبه‌شده به‌وسیله داده‌های بهنگام هواشناسی (I<sub>2</sub>) بود، اما مقدار آب موردنیاز آبشویی نیز به آن اضافه شد (LR+I<sub>2</sub>).

بر اساس استاندارد فائو ۲۹، سطح تحمل درختان پسته به شوری آب آبیاری و شوری خاک به ترتیب برابر با ۱/۱ و ۱/۷ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد. لذا اعمال ضریب بر اساس اعمال تنش شوری ممکن نبود. با توجه به شرایط منبع آب در مزرعه تنها امکان اعمال ۱۵ درصد به‌عنوان آبشویی فراهم بود که اعمال گردید. برای محاسبه حجم آب مصرفی در رژیم آبیاری I<sub>2</sub>، تبخیر و تعرق پتانسیل (ET<sub>0</sub>) با استفاده از اطلاعات روزانه هواشناسی و با روش پنمن - مانیت (PM) تعیین گردید (Allen *et al.*, 1998). سپس با استفاده از ضریب گیاهی (K<sub>c</sub>) برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان (شکل ۱)، تبخیر و تعرق گیاه مطابق رابطه (۵) بدست آمد:

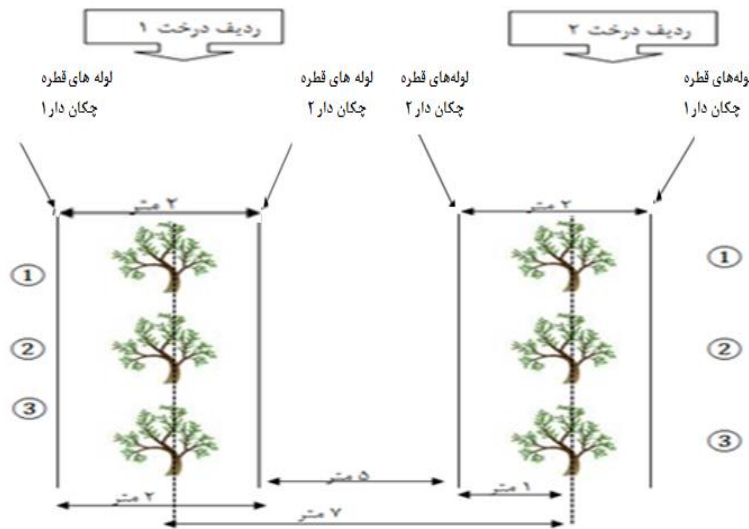
$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه ET<sub>c</sub>: تبخیر و تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر بر روز)، ET<sub>0</sub>: تبخیر و تعرق گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)، K<sub>c</sub>: ضریب گیاهی روزانه برای پسته در دوره‌های مختلف رشد برای منطقه سمنان (Farshi *et al.*, 1997) است.



شکل ۱- ضریب گیاهی و دوره‌های مختلف رشد گیاه مورد مطالعه (پسته).

عمق خالص آب آبیاری (d<sub>n</sub>) بر اساس ET<sub>c</sub> و با احتساب سطح سایه‌انداز درختان (بر اساس شرایط مزرعه ۴۳ درصد تعیین گردید) و دور آبیاری (یک روز میان) محاسبه شد (Kosari, 2009). عمق ناخالص آبیاری (d<sub>g</sub>) برحسب (میلی‌متر)



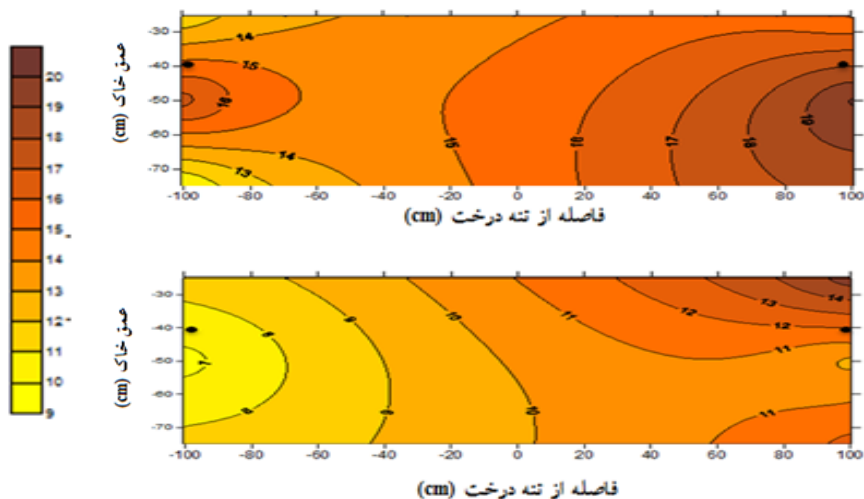
شکل ۲- محل قرارگیری لوله های قطره چکان دار زیرسطحی و نحوه ی نمونه برداری از بین درختان قبل بعد از آبیاری

## نتایج و بحث

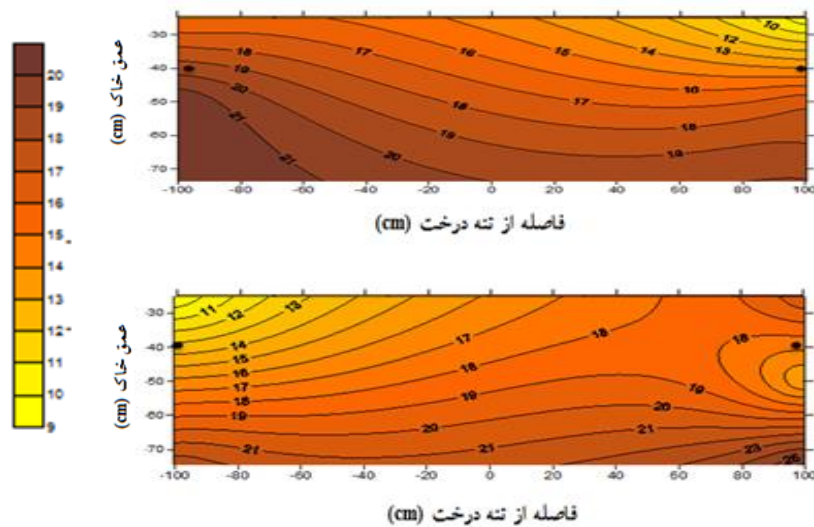
### بررسی روند تغییرات پروفیل نسبت جذبی سدیم

برای بررسی توانایی آبشویی در هر مدیریت آبیاری علاوه بر اینکه باید اثر  $EC_e$  در نظر گرفته شود، توانایی آن در کاهش اثر سدیم قابل جذب از منطقه ریشه را نیز باید در نظر گرفت، زیرا وجود یون سدیم در آب آبیاری یا خاک موجب می شود که نفوذپذیری خاک کاهش یابد. این اثر علاوه بر تأثیری است که سدیم مستقیماً بر بعضی از گیاهان داشته و ممکن است برای آن ها سمی باشد. غلظت سدیم معمولاً برحسب سدیم قابل تبادل نسبت به سایر کاتیون های موجود در سیستم خاک - آب سنجیده می شود. برای این منظور از معیارهای کمی سدیم قابل تبادل (ESP) یا نسبت جذب سدیم (SAR) استفاده

می شود. برای آگاهی از روند تغییرات نسبت جذبی سدیم در خاک، پروفیل تغییرات آن در هر سه رژیم آبیاری، قبل و بعد از آبیاری در تاریخ های ۵ و ۶ تیرماه (۹۷ و ۹۸ روز پس از اولین آبیاری) که مقارن با مهم ترین دوره رشد گیاه پسته (دوره توسعه) است رسم گردید. در رژیم  $I_1$  مقدار SAR بعد از آبیاری در پروفیل کاهش نشان می دهد. قبل از آبیاری مقدار تجمع در بین دو لاترال دیده می شود ولی بعد از آن در محیط خاک و در زیر محل قرارگیری قطره چکان پروفیل یکسانی دیده می شود. با توجه به شکل (۳) محور افقی نماینده فاصله از تنه درخت سمت چپ (در واقع نقطه صفر تنه درخت می باشد) و محور عمودی بیانگر عمق خاک می باشد و دایره های تعبیه شده در عمق ۴۰ سانتی متری بیانگر محل قرارگیری قطره چکان ها است.



شکل ۳- سدیم قابل جذب در رژیم  $I_1$  (آبیاری مبتنی بر مدیریت زارع)، قبل از آبیاری در ۵ تیرماه (۹۷ روز پس از اولین آبیاری) و بعد از آبیاری در ۶ تیرماه (۹۸ روز پس از اولین آبیاری)



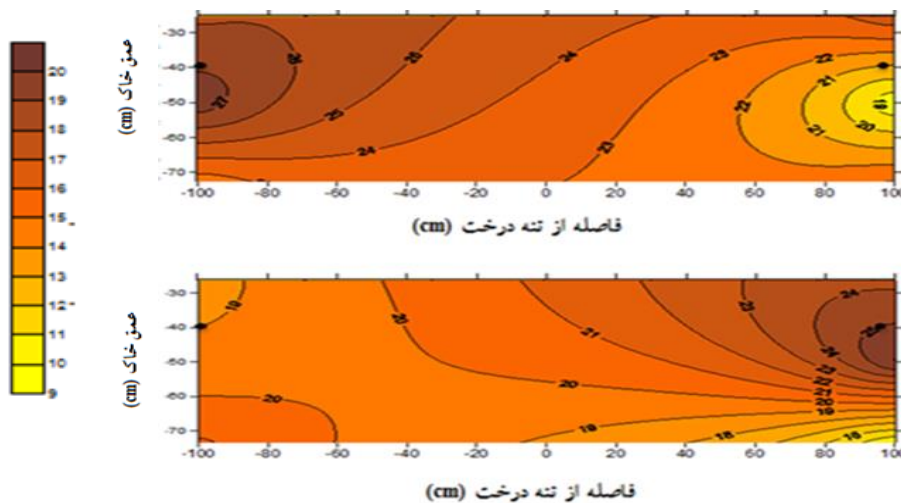
شکل ۴- سدیم قابل جذب در رژیم I<sub>2</sub> (آبیاری بر اساس پنمن-مانتیت)، قبل از آبیاری در ۵ تیرماه (۹۷ روز پس از اولین آبیاری) و بعد از آبیاری در ۶ تیرماه (۹۸ روز پس از اولین آبیاری)

یکنواختی در پروفیل شوری در خاک نشان دهنده آن است که برای ارزیابی الگوی توزیع شوری در خاک باید پارامترهای دیگری مانند خواص هیدرولیکی خاک، گونه‌های زراعی (عمدتاً به وسیله الگوی توزیع ریشه) و روش شخم خاک مورد توجه قرار گیرد (Oron *et al.*, 1999).

تغییرات شوری در حدفاصل بین دو لاترال که ۲ متر می‌باشد نشان دهنده آن است که شوری افزایش یافته و بیش از شوری آب آبیاری است. کاهش فاصله لاترال‌ها از ردیف درختان در شرایط کاربرد آب شور می‌تواند برای کاهش مقدار تجمع نمک در حدفاصل بین دو لاترال مورد توجه قرار گیرد.

در رژیم I<sub>2</sub> به طور متوسط میزان SAR افزایش یافته است و مقدار آن در اعماق پایین تر از محل نصب قطره چکان‌ها افزایش یافته است و بیانگر شسته شدن سدیم به اعماق پایین تر است (شکل ۴).

در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> با اعمال جزء آبشویی، میزان SAR بیشتری مشاهده می‌شود که نشان دهنده ورود بیشتر سدیم به خاک، توانایی جذب پایین توسط درختان و شستشوی آن به عمق می‌باشد (شکل ۵). نامتقارن بودن پروفیل توزیع شوری در سمت راست و چپ درخت معرف شرایط مزرعه است. نبود یکنواختی در مزرعه از نظر بافت خاک و توسعه ریشه و در نتیجه فرایند جذب آب منجر به چنین تغییراتی می‌شود. عدم



شکل ۵- سدیم قابل جذب در رژیم I<sub>3</sub> (آبیاری بر اساس نیاز آبی و اعمال جزء آبشویی (PM+LR))، قبل از آبیاری در ۵ تیرماه (۹۷ روز پس از اولین آبیاری) و بعد از آبیاری در ۶ تیرماه (۹۸ روز پس از اولین آبیاری)

تغییرات سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر مستقل رژیم آبیاری و عمق خاک بر تمامی صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین اثرات متقابل عمق خاک و رژیم آبیاری به‌جز کلسیم بر سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

بررسی اثر مستقل و متقابل رژیم‌های آبیاری، عمق خاک، زمان (قبل و بعد از آبیاری) در بررسی املاح سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم نتایج تجزیه واریانس تیمارهای طرح بر صفات مورد بررسی نشان داد که زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد) به‌جز کلسیم بر

جدول ۳- جدول تجزیه واریانس میزان سدیم، منیزیم، کلسیم و نسبت جذب سدیم بر پایه اطلاعات سه زمان نمونه‌گیری (۹۸-۹۷ روز بعد از اولین آبیاری (دوره توسعه)، ۱۵۱-۱۵۲ روز بعد از اولین آبیاری (دوره میانی) و ۲۰۸-۲۰۷ روز بعد از اولین آبیاری (دوره پایانی))

منابع تغییرات	df	Na (meq/lit)	Mg (meq/lit)	Ca (meq/lit)	SAR
تکرار	۲	۶۲/۶ <sup>ns</sup>	۳/۳ <sup>ns</sup>	۰/۸۶ <sup>ns</sup>	۰/۵۹۱ <sup>ns</sup>
قبل-بعد	۱	۷۷۴۷/۶ <sup>**</sup>	۱۰۷۵/۴ <sup>**</sup>	۴/۵۸ <sup>ns</sup>	۵۸/۶۴۵ <sup>**</sup>
خطا	۲	۵۴/۳	۴/۱	۳/۷۲	۰/۶۲۲
رژیم آبیاری	۲	۲۶۹۴/۸ <sup>**</sup>	۱۸۴/۵ <sup>**</sup>	۱۲۷/۲۲۵ <sup>**</sup>	۱۴/۷۵۵ <sup>**</sup>
عمق خاک	۲	۱۴۵۶/۸ <sup>**</sup>	۲۶۵/۱ <sup>**</sup>	۲۰/۳۶ <sup>**</sup>	۸/۰۱۷ <sup>**</sup>
عمق خاک* رژیم آبیاری	۲	۸۴۵/۰ <sup>**</sup>	۲۱/۱ <sup>**</sup>	۶/۰۶ <sup>ns</sup>	۹/۸۴۱ <sup>**</sup>
رژیم آبیاری* زمان (قبل-بعد آبیاری)	۲	۹۴۶/۸ <sup>**</sup>	۳۴/۶ <sup>**</sup>	۱۰/۱۲ <sup>*</sup>	۱۳/۳۹۳ <sup>**</sup>
عمق خاک* زمان (قبل-بعد آبیاری)	۴	۵۲/۷ <sup>ns</sup>	۳۶/۱ <sup>**</sup>	۲۲/۲۹ <sup>**</sup>	۱/۰۵۸ <sup>*</sup>
عمق خاک* رژیم آبیاری* زمان (قبل-بعد آبیاری)	۸	۲۳۷/۱ <sup>**</sup>	۱۶/۵ <sup>ns</sup>	۲۵/۸۱ <sup>**</sup>	۳/۸۷۱ <sup>**</sup>
خطا	۲۸	۲۴/۹	۶/۸	۲/۷۳	۰/۲۹۹
CV%		۱۰/۹	۱۱/۲	۶/۸	۱۱/۵

\*\* معنی‌داری در سطح ۱٪، \* معنی‌داری در سطح ۵٪ و ns غیر معنی‌دار

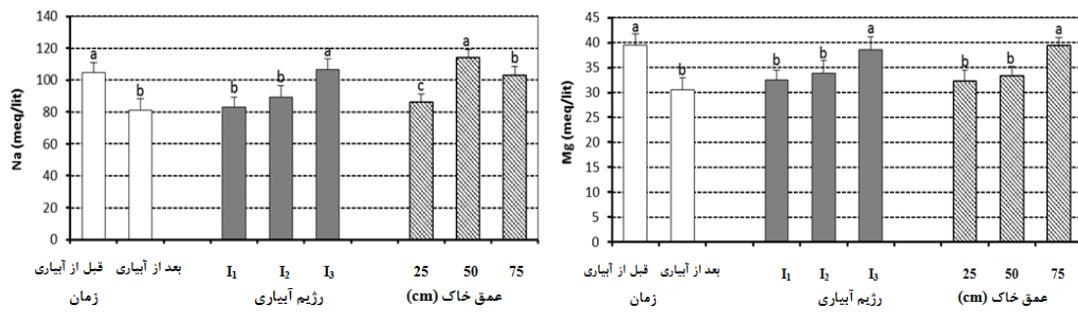
میزان سدیم و منیزیم نشان داد، در بین رژیم‌های آبیاری بیشترین میزان سدیم برابر با ۱۰۶/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> و بیشترین مقدار منیزیم برابر با ۳۸/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در همین رژیم آبیاری مشاهده شد. بیشترین مقدار منیزیم در عمق ۷۵ سانتی‌متری و سدیم در عمق ۵۰ سانتی‌متری مشاهده شد. بر اساس مقایسه میانگین‌ها بین رژیم‌های آبیاری I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> از نظر میزان سدیم و منیزیم موجود در خاک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد؛ که دلیل آن را می‌توان آبشویی املاح از سطح خاک به اعماق پایین‌تر دانست که باعث تجمع بیشتر میزان سدیم و منیزیم در لایه‌های زیرین می‌شود (شکل ۶).

بر اساس مقایسه میانگین‌ها در زمان قبل و بعد از آبیاری از نظر مقدار کلسیم موجود در خاک اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و همانند املاح سدیم و منیزیم، رژیم آبیاری I<sub>3</sub> دارای بیش‌ترین مقدار کلسیم و برابر با ۵۱/۱ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود و بین رژیم‌های I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> نیز اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۷).

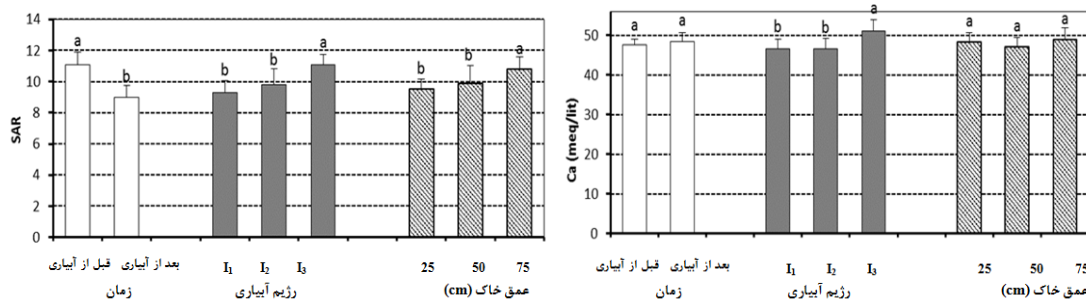
اثر متقابل رژیم آبیاری و زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان کلسیم در سطح ۵ درصد و بر سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. اثر متقابل عمق خاک و زمان (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان سدیم معنی‌دار نشد ولی بر SAR در سطح ۵ درصد و بر سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار شد. همچنین اثر متقابل عمق خاک، رژیم آبیاری و زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد از آبیاری) بر میزان منیزیم معنی‌دار نشد ولی بر سایر صفات در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد میزان املاح سدیم و منیزیم موجود در خاک در زمان بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. در آبیاری قطره‌ای که خاک به‌طور کامل اشباع نمی‌شود، این نتیجه‌گیری دارای اهمیت است. بر همین اساس مشاهده می‌شود تجمع املاح با گذشت زمان در لایه‌های پایین خاک بیشتر است که سایر پژوهش‌ها نیز این نتیجه‌گیری را تأیید می‌کنند (Sayyari et al., 2007; Taheri et al., 2016). بررسی اثرات مستقل زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد از آبیاری)، رژیم آبیاری و عمق خاک بر





شکل ۶- تأثیر اثرات مستقل زمان (قبل و بعد آبیاری)، رژیم آبیاری و عمق خاک بر میزان سدیم (Na) و منیزیم (Mg)



شکل ۷- تأثیر اثرات مستقل زمان (قبل و بعد آبیاری)، رژیم آبیاری و عمق خاک بر میزان کلسیم (Ca) و نسبت جذبی سدیم (SAR)

املاح در پروفیل خاک نشان‌دهنده آن است که حتی رژیم آبیاری I<sub>3</sub> در حرکت املاح به لایه‌های زیرین و آبشویی کامل خاک موفق نبوده و کاربرد آب آبیاری بیش از نیاز گیاه و به‌عنوان آب آبشویی تنها منجر به ورود بیشتر املاح به خاک می‌شود. لذا، مناسب‌تر است آب آبشویی در انتهای فصل و به‌صورت آبیاری سطحی و یا آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زمان بارندگی انجام شود تا نمک‌های تجمع یافته از محیط ریشه خارج شوند.

در رژیم آبیاری I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> بین اعماق خاک ۲۵ و ۵۰ سانتی-متر از لحاظ مقدار منیزیم اختلاف معنی‌داری وجود نداشت، اما مقدار آن در عمق ۷۵ سانتی‌متر نسبت به اعماق قبل دارای افزایش معنی‌داری بود و در رژیم I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> به ترتیب بیشترین مقدار منیزیم در عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر به ترتیب برابر با ۳۷/۸ و ۳۶/۷ میلی‌اکی‌والان بر لیتر مشاهده شد. بالاترین مقدار منیزیم به ترتیب معادل با ۲۸/۳ و ۴۳/۶ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> و در اعماق خاک ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر و نیز ۳۷/۸ میلی‌اکی‌والان بر لیتر در رژیم آبیاری I<sub>1</sub> در عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر مشاهده شد. روند تجمع املاح در خاک با نتایج سایر محققان منطبق است (Enciso et al., 2003; Payero et al., 2008). نتایج مقایسه میانگین‌ها در رژیم‌های آبیاری نشان داد، میزان کلسیم در عمق‌های مختلف خاک تغییر معنی‌داری نداشته است و بالاترین میزان کلسیم در عمق‌های مختلف خاک در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> در مقایسه با دو رژیم دیگر آبیاری مشاهده

میزان نسبت جذب سدیم در زمان بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری کاهش معنی‌داری پیدا کرد. رژیم‌های آبیاری I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> از نظر میزان نسبت جذب سدیم با هم اختلاف معنی‌داری نشان ندادند ولی رژیم آبیاری I<sub>3</sub> با این دو رژیم اختلاف معنی‌داری پیدا کرد. بیش‌ترین مقدار نسبت جذب سدیم در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> برابر با ۱۱/۱ اندازه‌گیری شد. از بین عمق‌های خاک عمق ۷۵ سانتی‌متر دارای بیش‌ترین مقدار نسبت جذب سدیم برابر با ۱۰/۸ بود که با مقدار آن در عمق ۲۵ و ۵۰ سانتی‌متر اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۷). این نتایج نشان می‌دهد در سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی فرایند آبشویی در پروفیل رطوبتی مؤثر بوده زیرا تجمع املاح را به عمق ۷۵ سانتی‌متری خاک و یا بیشتر منتقل کرده است (Oron et al., 1999).

با توجه به اثرات متقابل رژیم آبیاری و عمق خاک مشاهده شد که در رژیم آبیاری I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> اختلاف معنی‌داری بین میزان سدیم در اعماق مختلف خاک وجود ندارد، اما در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> و در عمق ۷۵ سانتی‌متر میزان سدیم نسبت به سایر رژیم‌های آبیاری به‌صورت معنی‌داری بالاتر بود. از بین سه رژیم آبیاری در اعماق مختلف خاک، بالاترین میزان سدیم با مقدار ۱۲۳/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر به رژیم آبیاری I<sub>3</sub> در عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر اختصاص یافت که نسبت به سایر ترکیبات افزایش معنی‌داری نشان داد. افزایش تجمع میزان سدیم در رژیم آبیاری I<sub>3</sub> و عمق ۷۵ سانتی‌متر ناشی از ضریب آبشویی بالا در ترکیبات سدیمی می‌باشد (جدول ۴). تغییرات اجزای مختلف

مشاهده نشد (جدول ۴). با توجه به اثرات متقابل عمق خاک و زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد از آبیاری) مشاهده شد که میزان سدیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری در هر سه عمق خاک دارای کاهش معنی‌داری بود و بالاترین میزان سدیم در عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر در زمان قبل از آبیاری مشاهده شد که برابر ۱۱۶/۵ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود و نسبت به سایر تیمارها افزایش معنی‌داری داشت. بین قبل و بعد از آبیاری در عمق ۲۵ سانتی‌متر خاک، میزان منیزیم تفاوت معنی‌داری نشان نداد، اما در اعماق ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متر خاک میزان منیزیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. در اعماق ۲۵ و ۷۵ سانتی‌متر خاک میزان کلسیم، بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری افزایش معنی‌داری نشان داد که به ترتیب برابر با ۴۹/۷ و ۴۹/۴ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود اما در عمق ۵۰ سانتی‌متر خاک اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. در تمامی اعماق خاک، میزان نسبت جذب سدیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری کاهش معنی‌داری نشان داد.

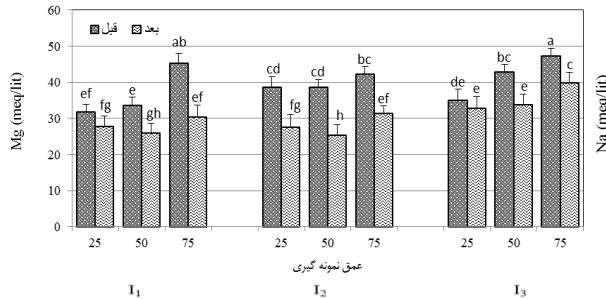
شد. تغییرات کم در آشوبی کلسیم ناشی از ضریب آشوبی پایین ترکیبات کلسیمی می‌باشد. میزان نسبت جذب سدیم نیز تحت تأثیر رژیم آبیاری  $I_1$  و اعماق خاک قرار نگرفت ولی در رژیم آبیاری  $I_2$  در عمق ۷۵ سانتی‌متر نسبت به عمق ۵۰ سانتی‌متر میزان نسبت جذب سدیم به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد. در رژیم آبیاری  $I_3$  میزان نسبت جذب سدیم در اعماق ۵۰ و ۷۵ سانتی‌متری نسبت به عمق ۲۵ سانتی‌متری خاک به‌طور معنی‌داری بیشتر بود و بالاترین مقدار برابر با ۱۲/۴ به رژیم آبیاری  $I_3$  و عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر تعلق داشت (جدول ۴). اثرات متقابل رژیم‌های آبیاری و زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد از آبیاری) نشان داد که در رژیم‌های آبیاری  $I_1$  و  $I_2$  میزان سدیم و نسبت جذب سدیم قبل از آبیاری نسبت به بعد از آبیاری دارای افزایش معنی‌داری بود، اما در رژیم آبیاری  $I_3$  اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. میزان منیزیم در تمامی سطوح رژیم‌های آبیاری در زمان بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری کاهش معنی‌داری داشت. در هیچ‌یک از رژیم‌های آبیاری تغییر معنی‌داری در میزان کلسیم بین زمان قبل و بعد از آبیاری

جدول ۴- مقایسه میانگین‌های اثرات متقابل دو طرفه رژیم آبیاری و عمق خاک، رژیم‌های آبیاری و زمان، عمق خاک و زمان بر میزان سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، کلسیم (Ca) و نسبت جذبی سدیم (SAR)

SAR	Ca (meq/lit)	Mg (meq/lit)	Na (meq/lit)	تیمار	اثرات متقابل		
۹/۳ <sup>c</sup>	۴۶/۸ <sup>c</sup>	۲۹/۸ <sup>c</sup>	۸۱/۳ <sup>c</sup>	۲۵	رژیم آبیاری و عمق خاک		
۹/۹ <sup>c</sup>	۴۵/۱ <sup>c</sup>	۲۹/۹ <sup>c</sup>	۸۶/۳ <sup>c</sup>	۵۰		$I_1$	
۸/۷ <sup>c</sup>	۴۷/۸ <sup>bc</sup>	۳۷/۸ <sup>ab</sup>	۸۱/۳ <sup>c</sup>	۷۵			
۹/۸ <sup>bc</sup>	۴۶/۶ <sup>c</sup>	۳۳/۱ <sup>bc</sup>	۸۸/۰ <sup>c</sup>	۲۵		$I_2$	
۸/۵ <sup>c</sup>	۴۶/۳ <sup>c</sup>	۳۲/۰ <sup>bc</sup>	۷۵/۴ <sup>c</sup>	۵۰			
۱۱/۳ <sup>ab</sup>	۴۶/۸ <sup>c</sup>	۳۶/۷ <sup>b</sup>	۱۰۴/۹ <sup>b</sup>	۷۵			
۹/۴ <sup>c</sup>	۵۲/۰ <sup>a</sup>	۳۳/۹ <sup>bc</sup>	۸۹/۰ <sup>c</sup>	۲۵		$I_3$	
۱۱/۴ <sup>ab</sup>	۴۹/۶ <sup>ab</sup>	۳۸/۳ <sup>ab</sup>	۱۰۷/۴ <sup>b</sup>	۵۰			
۱۲/۴ <sup>a</sup>	۵۱/۶ <sup>ab</sup>	۴۳/۶ <sup>a</sup>	۱۲۳/۴ <sup>a</sup>	۷۵			
۱۱/۳ <sup>a</sup>	۴۵/۵ <sup>b</sup>	۳۶/۹ <sup>b</sup>	۱۰۳ <sup>a</sup>	قبل از آبیاری	$I_1$		
۷/۴ <sup>c</sup>	۴۷/۶ <sup>b</sup>	۲۸/۱ <sup>c</sup>	۶۳/۸ <sup>c</sup>	بعد از آبیاری			
۱۰/۹ <sup>a</sup>	۴۶/۴ <sup>b</sup>	۳۹/۸ <sup>ab</sup>	۱۰۱/۷ <sup>a</sup>	قبل از آبیاری	$I_2$		
۸/۸ <sup>b</sup>	۴۶/۷ <sup>b</sup>	۲۸/۱ <sup>c</sup>	۷۷/۳ <sup>b</sup>	بعد از آبیاری			
۱۱/۳ <sup>a</sup>	۵۱/۳ <sup>a</sup>	۴۱/۷ <sup>a</sup>	۱۱۱/۳ <sup>a</sup>	قبل از آبیاری	$I_3$		
۱۰/۹ <sup>a</sup>	۵۱/۰ <sup>a</sup>	۳۵/۵ <sup>b</sup>	۱۰۲/۰ <sup>a</sup>	بعد از آبیاری			
۱۰/۸ <sup>ab</sup>	۴۷/۰ <sup>bc</sup>	۳۵/۱ <sup>bc</sup>	۹۸/۶ <sup>b</sup>	قبل از آبیاری	۲۵		
۸/۳ <sup>c</sup>	۴۹/۷ <sup>a</sup>	۲۹/۴ <sup>c</sup>	۷۳/۶ <sup>c</sup>	بعد از آبیاری			
۱۰/۷ <sup>a</sup>	۴۷/۷ <sup>bc</sup>	۳۸/۴ <sup>b</sup>	۹۹/۷ <sup>b</sup>	قبل از آبیاری	۵۰		
۹/۱ <sup>bc</sup>	۴۶/۳ <sup>c</sup>	۲۸/۴ <sup>c</sup>	۷۹/۶ <sup>c</sup>	بعد از آبیاری			
۱۱/۹ <sup>a</sup>	۴۸/۳ <sup>bc</sup>	۴۵/۰ <sup>a</sup>	۱۱۶/۵ <sup>a</sup>	قبل از آبیاری	۷۵		
۹/۷ <sup>bc</sup>	۴۹/۴ <sup>a</sup>	۳۳/۹ <sup>c</sup>	۸۹/۸ <sup>bc</sup>	بعد از آبیاری			

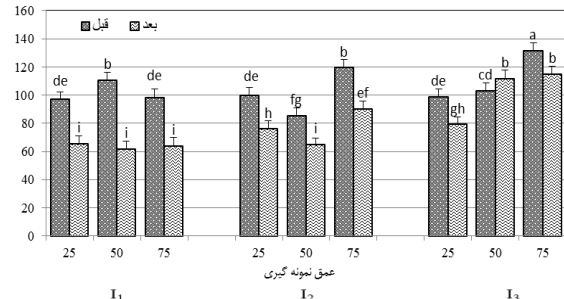
اعدادی که دارای حروف غیرمشابه هستند در سطح ۱٪ دارای اختلاف معنی‌دار می‌باشند.

نسبت به قبل از آبیاری دارای افزایش معنی‌داری بود، در سایر تیمارها، میزان سدیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۸)



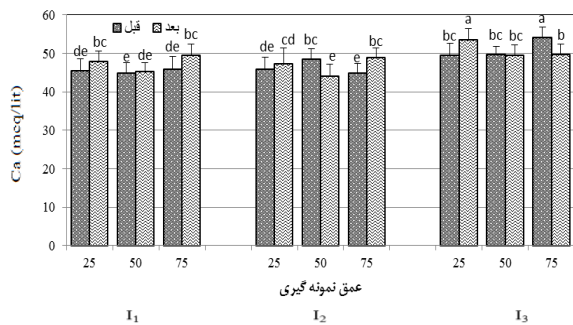
شکل ۸- تأثیر اثرات متقابل سه‌طرفه رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان قبل و بعد آبیاری بر میزان منیزیم (Mg) و سدیم (Na)

اثرات متقابل رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان نمونه‌برداری (قبل و بعد از آبیاری) نیز نشان داد که به‌جز رژیم آبیاری I<sub>3</sub> و عمق خاک ۵۰ سانتی‌متر که در آن میزان سدیم بعد از آبیاری

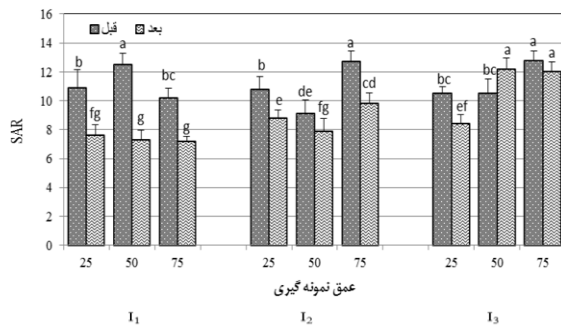


سانتی‌متر خاک میزان کلسیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری کاهش معنی‌دار و در عمق ۷۵ سانتی‌متر خاک افزایش معنی‌داری نشان داد. در رژیم آبیاری I<sub>3</sub>، در عمق خاک ۲۵ سانتی‌متر میزان کلسیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری دارای افزایش معنی‌دار و در عمق خاک ۷۵ سانتی‌متر کاهش معنی‌داری نشان داد و در عمق خاک ۵۰ سانتی‌متر بین قبل و بعد از آبیاری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۹).

همچنین در همه تیمارهای رژیم آبیاری و در همه عمق‌های خاک میزان منیزیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری کاهش معنی‌داری داشت (شکل ۸). در رژیم آبیاری I<sub>1</sub> در اعماق خاک ۲۵ و ۷۵ سانتی‌متر میزان کلسیم بعد از آبیاری نسبت به قبل از آبیاری دارای افزایش معنی‌دار بود، اما در عمق خاک ۵۰ سانتی‌متر بین قبل و بعد از آبیاری تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در رژیم آبیاری I<sub>2</sub> در عمق ۲۵ سانتی‌متر بین قبل و بعد از آبیاری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و در عمق ۵۰



شکل ۹- تأثیر اثرات متقابل سه‌طرفه رژیم آبیاری، عمق خاک و زمان (قبل و بعد آبیاری) بر میزان نسبت جذب سدیم (SAR) و کلسیم (Ca)



### نتیجه‌گیری

با توجه به تغییر روش‌های آبیاری در باغات پسته از سطحی به قطره‌ای زیرسطحی و همچنین شور بودن آب آبیاری در مناطق اصلی پسته خیز کشور، امکان آبشویی خاک در طول فصل آبیاری با استفاده از روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و اثر آن بر تغییرات املاح خاک و نحوه توزیع آن‌ها مورد سؤال است. در این پژوهش با اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری وضعیت تجمع املاح در عمق‌های مختلف خاک از منطقه توسعه ریشه درختان پسته تحت سیستم آبیاری قطره‌ای زیرسطحی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با توجه به پایین بودن دور آبیاری و حجم کم آب کاربردی در هر نوبت

با توجه به شکل (۸) میزان نسبت جذب سدیم در رژیم‌های I<sub>1</sub> و I<sub>2</sub> و I<sub>3</sub> در هر یک از اعماق مورد بررسی بعد از آبیاری در مقابل مقادیر متناظر قبل از آبیاری دارای کاهش معنی‌داری بود و فقط در رژیم I<sub>3</sub> و عمق ۵۰ سانتی‌متر با افزایش نسبت جذب سدیم نسبت به قبل از آبیاری روبرو بود. در عمق ۷۵ سانتی‌متر در رژیم I<sub>3</sub> نیز اختلاف معنی‌داری در بین قبل و بعد از آبیاری وجود نداشت. بیش‌ترین مقدار نسبت جذب سدیم در رژیم I<sub>1</sub> در عمق ۵۰ سانتی‌متر و قبل از آبیاری برابر با ۱۲/۵، در رژیم I<sub>2</sub> در عمق ۷۵ سانتی‌متر و قبل از آبیاری برابر با ۱۲/۷ و در رژیم I<sub>3</sub> در عمق ۵۰ سانتی‌متر و بعد از آبیاری با مقدار ۱۲/۲ ثبت شد.

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در زمان بارندگی انجام شود تا نمک‌های تجمع یافته از محیط ریشه خارج شوند.

### سپاسگزاری

اطلاعات ارائه‌شده در این مقاله نتایج پروژه پژوهشی با عنوان "شاخص‌های طراحی، اجرا و مدیریت در آبیاری قطره‌ای زیر-سطحی و ارزیابی آن در باغات سمنان" می‌باشد 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.

### REFERENCES

- Abbaszadeh, F. and Rezaei Sukht Abandani, R. (2012). Effect of different levels of salinity stress on concentration of cations and anions in different rapeseed genotypes, *Journal of Plant Physiology*, 4 (16), 95-108. (in Farsi)
- Abel, G. H. and Mackenzie, A.J. (1964). Salt tolerance of soy bean varieties (*Glycine max L.*) during germination and later growth. *Crop sciences*, 4, 157 - 161.
- 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 pp.
- Amente, G., Backer, M.J. and Reece, C.F. (2000). Estimation of soil solution electrical conductivity from bulk soil electrical conductivity in sandy soil. *Soil Science American Journal*, 64, 1931-1939.
- Beniwal, R.K., Soni, M.L., Yadava, N.D., Prakash, C. and Talwar, H.S. (2006). Effect of irrigation scheduling on moisture and salt distribution and growth of Kagji lime under drip irrigation in arid Rajasthan. *Annals of Arid Zone*, 45(2), 169-174
- Burt, C., Othman, A.A. and Paolini, A. (2003). Salinity patterns on row crops under subsurface drip Irrigation (SDI) on the Westside of the San Joaquin Valley of California, *irrigation training and research center (ITRC)*, 64 pp.
- Bybordi, A. (2010). Effects of Salinity on Yield and Component Characters in Canola (*Brassica napus L.*) Cultivars. *Notulae Scientia Biologicae*, 2 (1), 81-83.
- DeTar, W.R. (2007). Yield and growth characteristics for cotton under various irrigation regimes on sandy soil. *Agricultural water management*, 92, 497-505.
- Enciso, J., Jifon, J. and Wiedenfeld, B. (2007). Subsurface drip irrigation of onions, effects of drip tape emitter spacing on yield and quality. *Agricultural water management*, 92, 126-130.
- Enciso, J., Unruh, B. L., Colaizzi, P. D. and Multer, W. L. (2003). Cotton response to subsurface drip irrigation frequency under deficit irrigation. *Applied Engineering in Agriculture*. 19(5), 555-558.
- Farshi, AA., Shariati, MH., Jarollahi, R., Ghaemi, MH., 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*, 394pp. (in Farsi).
- Gençoğlan, C., Altunbey, H. and Gençoğlan, S. (2006). Response of green bean (*P. vulgaris L.*) to subsurface drip irrigation and partial root zone-drying irrigation. *Agricultural water management*, 84, 274-280.
- Ghassemzadeh, Mojaveri F. (1990). Evaluation of Irrigation Systems of Farms. *Mashhad: Astan Quds Razavi. Bhnshr company*, 329pp. (in Farsi).
- Hanson, B. and May, D. (2004). Effect of subsurface drip irrigation on processing tomato yield, water table depth, soil salinity, and profitability. *Agricultural water management*, 68, 1-17.
- 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*.
- Marandola, D. and Coderoni, S. (2013). Sustainable land use, priority in EU policies. *L'Informatore Agrario*, 4, 48-51.
- Murray, R.S. and Grant, C.D. (2007). The impact of irrigation on soil structure. *Land and Water Australia*, 1-31.
- Nagaz, K., Masmoudi, M.M. and Mechlia, N.B. (2007). Soil salinity and yield of drip-irrigated potato under different irrigation regimes with saline water in arid conditions of Southern Tunisia. *Journal of Agronomy*, 6 (2), 324-330.

- Oron, G., DeMalach, Y., Gillerman, L., David, I. and Rao, V. (1999). Improved saline-water use under subsurface drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 39, 19-33.
- Patel, N. and Rajput, T.B.S. (2008). Effect of drip tape placement depth and irrigation level. *Agricultural water management*, 88, 209-223.
- Payero, J.O., Tarkalson, D.D., Irmak, S., Davison, D. and Petersen, J.L. (2008). Effect of irrigation amounts applied with subsurface drip irrigation on corn evapotranspiration, yield, water use efficiency, and dry matter production in a semi-arid climate. *Agricultural water management*, 95, 895-908.
- Rhoades, J.D. and Loveday, J. (1990). Salinity in irrigated agriculture. In: Steward B.A., Neilsen D.R. (eds): *Irrigation of Agricultural Crops*. Madison, ASA, CSSA, SSSA, 1089–1142.
- 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 Farsi)
- Shrivastava, P., Kumar, R. (2015). Soil salinity: A serious environmental issue and plant growth promoting bacteria as one of the tools for its alleviation. *Saudi journal of biological sciences*, 22 (2), 123–131.
- Taheri, M., 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 Farsi)