

## Investigation of Effect of Dry Drainage on the Transport and Distribution of Cations Using a Physical Model

SHAHAB ANSARI<sup>1</sup>, JAHANGIR ABEDI-KOUPAI<sup>\*2</sup>, BEHROUZ MOSTAFAZADEH-FARD<sup>3</sup>,  
MOHAMMAD SHAYANNEJAD<sup>4</sup>, MOHAMMAD REZA MOSADDEGHI<sup>5</sup>

1. PhD student, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

2. Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

3. Professor emeritus, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

4. Associate Professor, Water Engineering Department, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

5. Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

(Received: Sep. 11, 2017- Revised: Apr. 4, 2018- Accepted: Apr. 21, 2018)

### ABSTRACT

In recent years, decreasing water resources stimulated researchers to consider dry drainage in dry area due to less cost and water requirement. Understanding mechanism and the amount of different salts transportation from the irrigated area to the non-irrigated area is necessary to evaluate the performance of this system and the pre-implementation of purification and recovery projects of the salt collected from the non-planted surface area. In this study, the effect of dry drainage on the transportation of important cations and salinity changes (EC) in a loamy soil were investigated using a physical model under barley cultivation in 2017. The physical model was made of galvanize and had useful length, width and height of 2, 0.5 and 1 meter respectively. On the basis of the results, changes in sodium and calcium concentration profiles were similar and they were different from changes in potassium and magnesium concentration profiles. Sodium, potassium and calcium ions were accumulated in the upper soil layer, but magnesium was accumulated in the lower soil layer of the non-planted area. At the end of experiment, sodium, calcium, potassium, magnesium concentrations and SAR at the soil surface of non-irrigated area were 210, 410, 125, 115 and 126 percent of their initial values respectively. At the end of experiment, the soil surface salinity of the planted and non-planted areas was increased up to 145 and 270% of their initial values, respectively.

Keywords: Barley, Cations transport, Dry drainage, EC, SAR.

---

\* Corresponding Author E-mail: [koupai@cc.iut.ac.ir](mailto:koupai@cc.iut.ac.ir).

## بررسی اثر زهکشی خشک بر نحوه حرکت و توزیع کاتیون‌ها با استفاده از یک مدل فیزیکی

شهاب انصاری<sup>۱</sup>، جهانگیر عابدی کوپایی<sup>۲\*</sup>، بهروز مصطفی‌زاده فرد<sup>۳</sup>، محمد شایان نژاد<sup>۴</sup>، محمدرضا مصدقی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. استاد بازنشسته، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۴. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۵. استاد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۰ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۱)

### چکیده

در سال‌های اخیر نظر به کاهش منابع آب، پژوهشگران زهکشی خشک را به دلیل نیاز کمتر به آب، هزینه اجرا و نگهداری برای کاربرد در مناطق خشک مورد توجه قرار داده‌اند. آگاهی از نحوه و میزان انتقال املاح مختلف از منطقه آبیاری به منطقه آیش برای بررسی عملکرد این سیستم و ارزیابی پیش از اجرای پروژه‌های تصفیه و بازیافت نمک جمع‌آوری شده از سطح خاک منطقه آیش ضروری است. در این مطالعه اثر زهکشی خشک بر انتقال کاتیون‌های مهم و تغییر شوری (EC) در یک خاک لومی با استفاده از یک مدل فیزیکی تحت کاشت گیاه جو در سال ۱۳۹۵ بررسی شد. مدل مذکور از جنس گالوانیزه و دارای طول، عرض و ارتفاع مفید ۲، ۰/۵ و ۱ متر بود. براساس نتایج، پروفیل تغییرات غلظت سدیم و کلسیم مشابه یکدیگر بود و با پروفیل تغییرات غلظت پتاسیم و منیزیم تفاوت داشت. یون‌های سدیم، پتاسیم و کلسیم در لایه‌های فوقانی خاک و منیزیم در لایه‌های تحتانی خاک منطقه آیش تجمع یافته بودند. همچنین در انتهای دوره آزمایش غلظت سدیم و کلسیم در سطح خاک منطقه آیش به ترتیب به ۲۱۰ و ۴۱۰ درصد، پتاسیم و منیزیم به ترتیب به ۱۲۵ و ۱۱۵ درصد و مقدار نسبت جذب سدیم به ۱۲۶ درصد مقدار اولیه در زمان شروع آزمایش رسیده بود. مقدار شوری سطح خاک منطقه آبیاری و آیش نیز در پایان آزمایش به ترتیب به ۱۴۵ و ۲۷۰ درصد مقدار اولیه در زمان شروع آزمایش بالغ شده بود.

واژه‌های کلیدی: جو، حرکت کاتیون‌ها، زهکشی خشک، شوری، نسبت جذب سدیم.

### مقدمه

از دیرباز کشاورزی منبع عمده تأمین غذای بشر بوده است. با گذر زمان و ازدیاد جمعیت، میزان غذای مورد نیاز بشر و به دنبال آن میزان زمین‌های زیر کشت افزایش یافته است. در چنین شرایطی با توجه به محدود بودن اراضی قابل کاشت، لزوم توجه به کشاورزی پایدار بر مبنای دو رکن اساسی آبیاری و زهکشی به شدت احساس می‌شود (Bybordi, 2008).

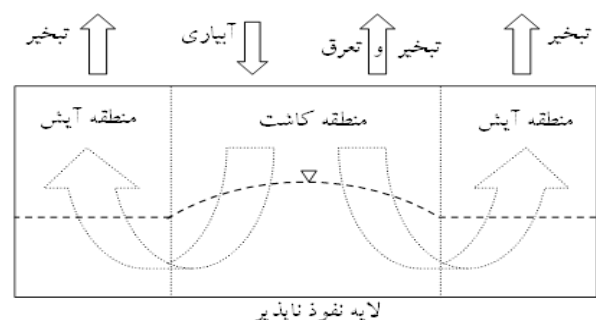
در گذشته زهکشی به اندازه آبیاری به عنوان یکی از ارکان مهم کشاورزی مورد توجه نبوده است. به عنوان مثال براساس مطالعات صورت گرفته در بین‌النهرین، کم توجهی به این امر باعث از بین رفتن کیفیت و حاصلخیزی خاک و به تبع آن تمدن آن نواحی شده است (Abbasi, 2013; Hajabbasi, 2007). افزایش شوری و کاهش کیفیت خاک به علت عدم توجه

به اصول علمی کشاورزی در بسیاری از نقاط دنیا چالش بزرگی شناخته شده است. دلیل این مسئله کاهش تولید محصولات کشاورزی علاوه بر آلودگی منابع آب و خاک بر اثر افزایش شوری می‌باشد (Mostafazadeh, 2007). براساس مطالعات انجام گرفته، ایران چهارمین کشور دارای اراضی شور پس از چین، پاکستان و هندوستان در آسیا می‌باشد (Abbasi, 2013). طرح‌های زهکشی مصنوعی هزینه‌های زیادی برای احداث و نگهداری نیاز دارند. همچنین با افزایش شوری، زهکشی خاک‌های شور با این شیوه نیازمند ابنیه، تجهیزات و هزینه‌های بیشتری خواهد بود. در بسیاری از مناطق این هزینه‌ها از ارزش اراضی و تولیدات کشاورزی آن‌ها همچون غلات و پنبه بیشتر است. بنابراین کشاورزان انگیزه کمی در خصوص اجرای چنین سیستم‌هایی دارند (Wichelns and Konukcu et al., 2006). یکی از راهکارهایی که در بیشتر نقاط دفع زهاب استفاده می‌شود، تخلیه زهاب به منابع آب سطحی و یا برکه‌های تبخیری است. این روش‌ها هر چند در کوتاه مدت

براساس اطلاعات انتشاریافته، کشاورزان در دره فرگانا (Fergana) با رها کردن ۳۰ تا ۳۵ درصد زمین‌های خویش به عنوان آیش زهکشی خشک را اجرا و شوری خاک مناطق کاشت را کنترل نموده‌اند (Kovda, 1971). نتایج بررسی‌ها در حوضه رودخانه یرکیانگ (Basin Yerqiang River) نیز نشان داد زمین‌های پست در کنار مناطق کاشت، وابسته به شرایط ۲۸ تا ۴۴ درصد نمک تحمیلی توسط آب آبیاری را در خود جای می‌دهند (Shimajima *et al.*, 1996). همچنین سامانه زهکشی خشک از سوی اتحادیه توسعه برنج در غرب افریقا (WARDA) روش مناسبی برای کنترل شوری اراضی آن مناطق اعلام شده است (WARDA, 1997).

تحقیقات نشان داده که فاکتورهای افزایش اثر بخشی زهکشی خشک، کم عمق بودن آب زیرزمینی، تبخیر زیاد و بارش کم می‌باشند، شرایطی که از خصوصیات نواحی خشک و نیمه خشک است (Khouri, 1998). مطالعات انجام گرفته در کنار رودخانه سند نشان از آن دارد که زهکشی خشک از نظر اقتصادی و زیست محیطی یک راهکار جایگزین برای زهکشی سنتی در مناطق کم آب و با مشکلات مالی است. همچنین مشخص شد با توجه به شرایط، حتی اگر مساحت قسمت آبیاری و آیش با هم مساوی و عمق سطح ایستابی تا ۱/۵ متر نیز باشد باز هم زهکشی خشک نتیجه مطلوبی خواهد داشت (Konukcu *et al.*, 2006). پژوهش‌های گذشته بهترین راهکار مدیریتی برای کاهش ریسک انتقال مواد محلول به منابع آب در شرایط کم‌آبی و تبخیر زیاد را زهکشی خشک معرفی نموده‌اند (Jia and Evans, 2006). لازم به ذکر است براساس مدل‌سازی سیستم زهکشی خشک با استفاده از مدل SAHYSMOD با توجه به پارامترهای اثرگذار از جمله هدایت هیدرولیکی، عمق لایه نفوذ ناپذیر، عمق سطح ایستابی اولیه، عمق و شوری آب آبیاری، نرخ تبخیر از منطقه آیش و عرض مناطق آبیاری و آیش مشخص شد که هدایت هیدرولیکی خاک اثری بر شوری خاک منطقه آبیاری نداشته و عمق لایه نفوذ ناپذیر نیز اثری روی افت سطح ایستابی ندارد. همچنین پیشنهاد شده برای افزایش کارایی سیستم مذکور، عرض نوارهای آبیاری و آیش کمتر در نظر گرفته شوند (Akram *et al.*, 2008). مطالعات انجام شده در منطقه هیتاو در شمال چین که مشکلات مالی مهمی در آنجا وجود داشته است نیز نشان داده که زهکشی خشک در کاهش شوری منطقه کاشت بسیار موفق عمل کرده است. بر مبنای مطالعه مذکور، آب و نمک اضافی منتقل شده به منطقه آیش ۴ و ۷ برابر مقداری است که توسط زهکش‌های مصنوعی آن منطقه انتقال یافته است (Wu, *et al.*, 2009). البته لازم به یاد-

ممکن است بدون مشکل و حتی مفید واقع شوند اما، در دراز مدت خسارات جبران ناپذیری را به محیط زیست تحمیل می‌کنند. مطابق نشریه ۵۳۵ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری "ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب‌های برگشتی و پساب‌ها" میزان زهاب کشاورزی تولیدی در ایران سالانه ۲۶/۸ میلیارد مترمکعب می‌باشد که ۵۵ درصد آن زهاب زیرزمینی و بقیه زهاب سطحی است. با توجه به مشکلات یادشده، تلاش برای کاهش حجم زهاب، تصفیه و کاربرد مجدد آن به طور جدی سرلوحه فعالیت‌های کارشناسان و سازمان‌های مربوطه قرار گرفته است (Iranian environmental criteria of return water and wastewater reuse, 2010). زهکشی خشک روش نوینی است که به تازگی برای استفاده در اراضی کم آب که آب کافی برای آبیاری تمام مزارع وجود ندارد مورد توجه محققین قرار گرفته است. این روش به دلیل عدم تولید زهاب، نیازی به برنامه‌ریزی و هزینه برای جمع‌آوری، ذخیره و تصفیه زهاب ندارد. به همین دلیل از نظر اقتصادی مناسب نواحی است که تأمین هزینه‌ها در آنجا مشکل بزرگی است (Konukcu *et al.*, 2006; Khouri, 1998; Wichelns and Oster, 2006). این روش که اولین بار توسط گروینگ و ویزر در سال ۱۹۹۲ پیشنهاد گردید، به مفهوم استفاده موثر از تبخیر سطحی خاک در منطقه آیش برای کنترل نمک تحمیلی توسط آب آبیاری به منطقه کاشت (فاریاب) می‌باشد (Growing and Wyseure, 1992). در زهکشی خشک، زمین کشاورزی به نوارهایی تقسیم می‌شود که برخی از آن‌ها به منظور خروج آب آبیاری و نمک اضافی در نظر گرفته می‌شوند و به صورت آیش رها می‌گردند. این در حالی است که در بقیه قسمت‌های زمین کاشت گیاه و آبیاری انجام می‌شود. در چنین سیستمی، تبخیر از سطح خاک منطقه آیش باعث تغییر در مسیر حرکت آب در خاک شده (شکل ۱) و باعث انتقال آب و املاح اضافی از منطقه آبیاری (کاشت) به منطقه آیش می‌شود. بر اثر وجود این سیستم با گذر زمان نمک‌های وارد شده توسط آب آبیاری به منطقه آبیاری، در سطح خاک منطقه آیش تجمع می‌یابند (Khouri, 1998).



شکل ۱- مسیر حرکت آب در سیستم زهکشی خشک

آوری است که تداوم سیستم زهکشی خشک وابسته به مدیریت صحیح منطقه آیش می‌باشد (Doosti et al., 2014).

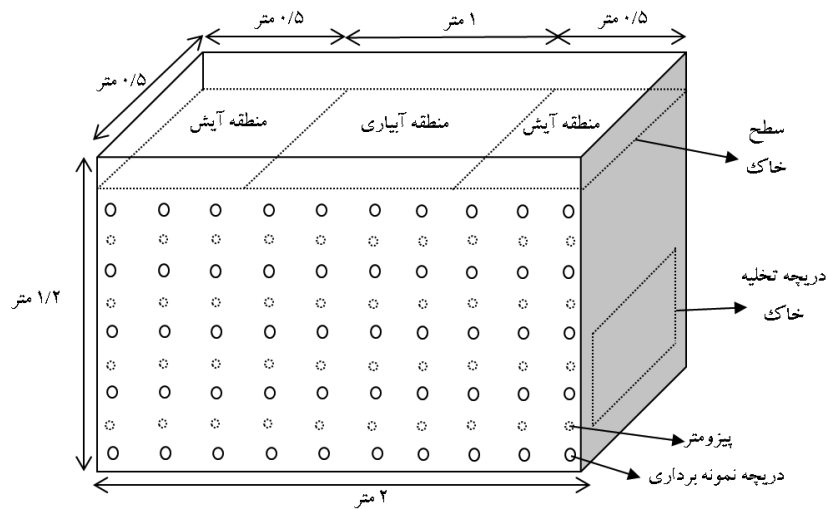
Soltani et al (2017) در طی تحقیقات خود بر روی زهکشی خشک اعلام داشتند که هر چند در مطالعات قبلی نسبت عرض نوارهای کاشت به آیش یک به یک بررسی و توصیه شده بود اما افزایش این نسبت به دو برابر نیز امکان‌پذیر بوده و شوری منطقه ریشه همچنان حفظ می‌شود لیکن به دلیل تجمع بیشتر نمک در منطقه آیش، اثربخشی آن وابسته به بهبود مدیریت پایش نمک و برداشت آن از سطح خاک منطقه مذکور است. Soltani et al (2018) همچنین زهکشی خشک را با استفاده از مدل HYDRUS شبیه‌سازی و نتایج را مناسب ارزیابی کردند اما بیان داشتند که دقت مدل در برآورد رطوبت خاک بهتر از شوری آن بوده است. با توجه به مطالعات قبلی، اگر افزایش شوری خاک در قسمتی از اراضی قابل قبول و یا قابل کنترل باشد، می‌توان از تبخیر صورت گرفته از سطح ایستابی در راستای اهداف زهکشی بهره برد. این روش حتی ممکن است نیازهای زهکشی از طریق شبکه زیرزمینی را نیز برطرف کند. در ایران در جنوب دشت گرمسار کشاورزان به طور تجربی اقدام به اجرای زهکشی خشک نموده‌اند در این منطقه نسبت عرض نوار-های آبیاری (کاشت) به آیش بسته به محل و آب و هوا از ۱/۵ تا ۸ برابر است (Azari, 2004).

در نواحی کم آب به دلیل فزونی زمین از آب آبیاری در دسترس، کل اراضی قابل کشاورزی فاریاب نمی‌باشد. در چنین مناطقی آبیاری در بخش‌هایی که گیاه کشت شده موجب انتقال نمک به نواحی آیش مجاور شده و سبب افزایش شوری آن می‌گردد. چنانچه این پدیده کنترل نشود علاوه بر مناطق آیش، مناطق آبیاری نیز پس از مدتی دچار شوری بیش از حد شده و امکان کشاورزی در آن‌ها از بین خواهد رفت. بنابراین اگر بتوان به طور علمی از این پدیده برای رسیدن به اهداف زهکشی بهره برد، گام مهمی در کنترل شوری خاک و کاهش هزینه‌ها برداشته خواهد شد. پتانسیل اجرای این طرح‌ها (زهکشی خشک) در نواحی گرم و خشک که از عمق نسبتاً کم آب زیر-زمینی، دما و شوری زیاد رنج می‌برند وجود دارد. در ایران چنین مناطقی در حاشیه کویر نمک و کویر لوت و یا نواحی جنوب رشته کوه البرز مانند گرمسار وجود دارند. نتایج انتشار یافته در رابطه با تحقیقات مرتبط با زهکشی خشک بسیار اندک می‌باشد. همچنین در همین نتایج مختصر نیز حرکت املاح مهم به طور ویژه مورد بررسی قرار نگرفته است. اطلاع از نوع، میزان و نحوه انتقال املاح تحت این سیستم نه تنها امکان بررسی عملکرد این

سیستم را در رابطه با انتقال املاح مختلف فراهم می‌نماید بلکه با توجه به لزوم مدیریت منطقه آیش و برداشت نمک از سطح خاک آن برای پایداری سیستم یاد شده، برای ارزیابی پیش از اجرای پروژه‌های تصفیه و بازیافت نمک جمع آوری شده از سطح خاک آن منطقه به منظور افزایش بهره‌وری اقتصادی طرح‌های زهکشی خشک، ضرورتی انکار ناپذیر دارد. از طرفی با توجه به این‌که گیاهان مختلف نسبت به غلظت املاح مختلف واکنش‌های متفاوتی نشان می‌دهند، پایش تغییر غلظت این املاح مقدمه‌ای برای بررسی تناسب کشت گیاهان مختلف در این سیستم خواهد بود. در همین راستا این مطالعه با هدف بررسی نحوه و میزان حرکت کاتیون‌های مهم در خاک (سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم) و تغییر هدایت الکتریکی (EC) تحت سیستم زهکشی خشک در شرایط کاشت گیاه جو با استفاده از یک مدل فیزیکی انجام شده است. یکی از مهمترین اهداف سیستم‌های زهکشی کنترل شوری بوده و از این‌رو بررسی تغییرات آن در این مطالعه مورد توجه قرار گرفت. همچنین پایش کاتیون‌های مذکور به دلیل اهمیت ویژه آن‌ها به سبب فراوانی نسبی در مواد تشکیل دهنده منابع آب و خاک و همچنین درصد انحلال زیاد آن‌ها در آب می‌باشد. ضمن آنکه کاتیون‌هایی همچون کلسیم و پتاسیم هم به عنوان مواد مغذی گیاه و هم عناصر بهبود دهنده ساختمان خاک شناخته شده و مصرف می‌شوند (Salardini, 1983; Bohn, et al., 1979; Malik et al., 1992; Lindsay, 1979).

### مواد و روش‌ها

در این مطالعه یک مدل فیزیکی برای بررسی اثر سیستم زهکشی خشک بر نحوه و میزان حرکت و توزیع کاتیون‌ها تحت شرایط کاشت گیاه جو در دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان ساخته شد (شکل ۲). مدل مذکور در فضای باز در سال ۱۳۹۵ مورد استفاده قرار گرفت. عایق‌بندی اطراف مدل به وسیله پشم شیشه انجام شد تا خاک داخل آن تنها از سطح با محیط اطراف تبادل دما داشته باشد. در یک طرف مدل دریچه‌ای برای تخلیه خاک در نظر گرفته شد. همچنین در طرف دیگر مدل، شبکه‌ای از پیزومترها (قطر ۱۰ میلی‌متر) و درپوش‌ها (قطر ۲۰ میلی‌متر) نصب شد (شکل ۳). سطح ایستابی در مدل به وسیله پیزومترها مشاهده و قرائت می‌شد و نمونه‌برداری از خاک از محل وجود درپوش‌ها انجام می‌گرفت. خصوصیات خاک لومی مورد استفاده در این مطالعه که از منطقه علویجه اصفهان تهیه شده بود، در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۲- تصویر مفهومی سه بُعدی از مدل فیزیکی مورد استفاده



شکل ۳- نمایی از پیزومترها و درپوش‌های نصب شده روی سطح جانبی مدل

جدول ۱- خصوصیات خاک مورد آزمایش

پارامتر	شیمیایی				فیزیکی			
	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	شوری (dS/m)	وزن مخصوص ظاهری (gr/m <sup>3</sup> )	رس سیلت (%)	شن
مقدار	۵/۱	۳/۲۵	۹/۵	۱۰/۷	۳	۱/۶	۲۸	۵۲

اطمینان از اشباع شدن کامل بخش تحتانی خاک که به عنوان آبخوان در نظر گرفته شده بود، انجام گردید. بعد از آن گیاه جو (به دلیل مقاوم بودن در مقابل شوری و رایج بودن کشت آن در نواحی خشک) در منطقه آبیاری درون مدل کاشته شد (Iranian technical instruction of barley agriculture, 2013). کاشت گیاه جو در منطقه آبیاری در یک شبکه مربعی به فواصل ۵ سانتیمتر و همچنین عمق ۵ سانتیمتر از سطح خاک انجام شد. در این مطالعه عرض منطقه آبیاری (کاشت) و آیش مساوی در نظر گرفته شد و آبیاری فقط در قسمت کاشت صورت می‌گرفت.

برای پر نمودن مدل ابتدا در کف مدل لایه‌ای از شن به ضخامت ۱۵ سانتیمتر قرار گرفت. در ادامه خاک با ارتفاع کم به صورت لایه لایه در مدل قرار گرفته و هر لایه به منظور رسیدن به تراکم خاک مزرعه کوبیده شد (ارتفاع خاک قرار گرفته درون مدل یک متر بود). بعد از پر شدن مدل، یک آبیاری سنگین با همان آبی که در ادامه برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گرفت برای جلوگیری از نشست احتمالی خاک در طول دوره آزمایش انجام شد، سپس آب زیرزمینی به صورت تغذیه از پایین (با استفاده از مجرای نصب شده در کف مدل) در عمق ۶۰ سانتیمتری از سطح خاک تثبیت شد. تغذیه از پایین به منظور

والان بر لیتر) و  $Na^+$ ،  $Ca^{2+}$ ،  $Mg^{2+}$  به ترتیب غلظت سدیم، کلسیم و منیزیم (میلی اکی والان بر لیتر) می‌باشد.

جدول ۲- خصوصیات آب آبیاری

پارامتر	pH	شوری (dS/m)	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Na^+$
مقدار	۷/۵	۳	۲/۹۴	۸/۱۴	۹/۱۵	۵/۹۹
			(meq/L)			

## نتایج و بحث

بر مبنای اندازه‌گیری‌های انجام شده، تغییرات غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم، منیزیم و میزان هدایت الکتریکی (EC) در اعماق مختلف خاک مناطق آبیاری و آیش و در زمان‌های متفاوت در قسمت‌های جداگانه زیر با هم مقایسه شده است. به طور مشابه چنین ارزیابی برای نسبت جذب سدیم به عنوان شاخصی که نشان‌دهنده تغییرات غلظت سدیم در مقابل تغییرات مجموع غلظت منیزیم و کلسیم می‌باشد نیز انجام شده است. به منظور جلوگیری از تکرار، اثر وجود سیستم زهکشی خشک و آب زیرزمینی بر تغییرات مذکور در بخش انتهایی مقاله در قسمت "مقایسه تغییرات غلظت کاتیون‌های مختلف" بررسی شده است.

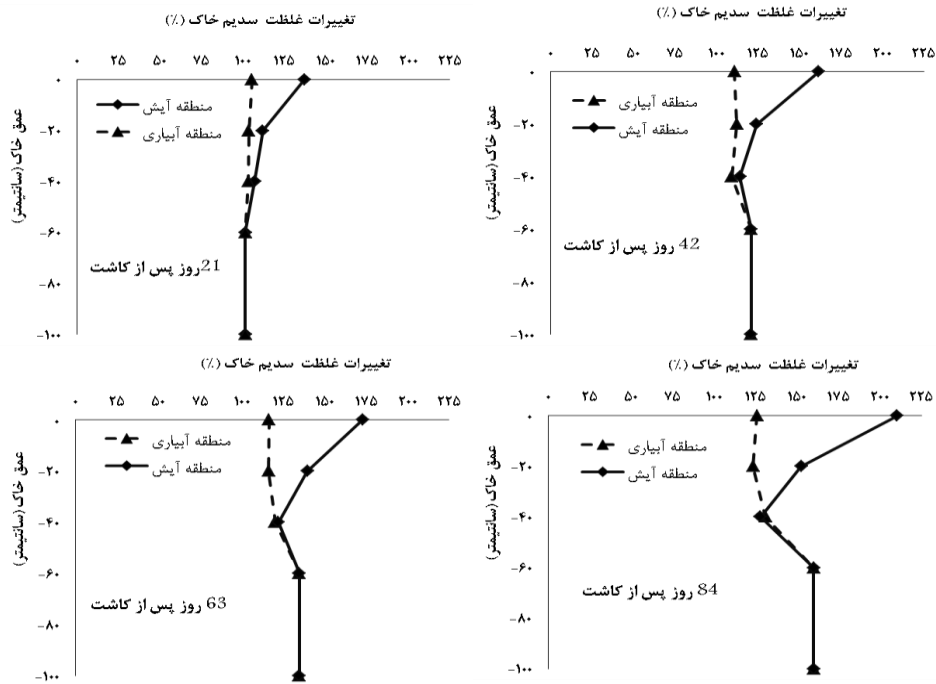
### سدیم

شکل (۴) نیم‌رخ تغییرات غلظت سدیم را در مناطق آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف پس از کاشت نسبت به شروع آزمایش نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، هر چند غلظت سدیم با گذر زمان در هر دو منطقه آبیاری و آیش افزایشی بوده است اما درصد این افزایش در منطقه آیش به ویژه از سطح خاک تا عمق ۴۰ سانتیمتری بیشتر از منطقه آبیاری اندازه‌گیری شده است که به علت تجمع بیشتر سدیم در اثر وجود سیستم زهکشی خشک می‌باشد. بر مبنای شکل (۴)، تجمع سدیم در منطقه آبیاری با افزایش عمق، افزایش یافته و بیشترین مقدار آن در انتهای دوره آزمایش به میزان ۱۶۰ درصد نسبت به زمان شروع آزمایش و در لایه اشباع رخ داده است در صورتی که در همین زمان غلظت سدیم در سطح خاک این منطقه به ۱۲۵ درصد میزان اولیه رسیده است. در منطقه آیش هر چند شرایط در لایه اشباع مشابه منطقه آبیاری بوده است اما با کاهش عمق از سطح ایستابی تا ۴۰ سانتیمتری سطح خاک شدت تجمع کمتر و در سایر اعماق بیشتر مشاهده شده است به طوری که حداکثر مقدار آن در پایان دوره آزمایش به میزان ۲۱۰ درصد مقدار اولیه و در سطح خاک رخ داده است.

در طول دوره رشد به منظور یکنواختی آبیاری اقدام به تهیه لوله آبیاری مشابه تیپ با استفاده از لوله آبیاری قطره‌ای ۱۶ میلیمتری متناسب با وسعت منطقه کاشت شد. لوله مذکور از دو سمت در طول لوله به فواصل ۵ سانتیمتر و قطر ۲ میلیمتر سوراخ شد. سپس دو ردیف از این لوله‌ها در منطقه کاشت به گونه‌ای قرار گرفت که سطح خاک این منطقه را به فواصل مساوی تقسیم نمایند. در ادامه با استفاده از یک سطل مدرج که خروجی آن به ورودی این شبکه لوله متصل بود و در ارتفاع کمی بالاتر از سطح خاک کنار مدل نصب بود آبیاری صورت می‌گرفت. آبیاری به صورت روزانه و هر بار به میزان حدود ۵ لیتر برای ثابت نگهداشتن سطح آب زیرزمینی انجام می‌شد. خصوصیات آب آبیاری در جدول (۲) ارائه شده است. در طول دوره آزمایش نمونه‌گیری در زمان‌های مختلف (با فواصل زمانی ۲۱ روز از ابتدای آزمایش) از اعماق مختلف خاک منطقه آیش و آبیاری انجام شد. لازم به ذکر است با گذر زمان به دلیل تجمع نمک در سطح خاک منطقه آیش از تبخیر این منطقه کاسته شد. بنابراین به منظور جلوگیری از این پدیده ۶۰ روز پس از کاشت اقدام به خراش نمک از سطح خاک منطقه آیش گردید. در هر مرحله نمونه‌برداری غلظت کاتیون‌های سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم همراه با مقدار هدایت الکتریکی اندازه‌گیری و نسبت جذب سدیم از رابطه ۱ محاسبه شد (Barzegar, 2001). در ادامه میانگین شوری، غلظت هر یون و همچنین نسبت جذب سدیم در نقاط هم عمق در هر زمان برای هر یک از مناطق آبیاری و آیش محاسبه گردید. در نهایت از مقایسه میانگین‌های ذکر شده در هر عمق، هر زمان و در هر منطقه با مقادیر اولیه در شروع آزمایش، تغییرات آن‌ها در اعماق و زمان‌های مختلف در هر منطقه محاسبه و مورد بررسی واقع شد. در این پژوهش هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه شوری‌سنج JENWAY مدل ۴۰۲۰، غلظت سدیم و پتاسیم با استفاده از دستگاه فلیم فتومتر JENWAY مدل PFP7 و غلظت کلسیم و منیزیم با استفاده از دستگاه جذب اتمی Perkin Elmer مدل AAnalyst 400 اندازه‌گیری شد. پس از به انتها رسیدن مراحل آزمایش، آب زیرزمینی با استفاده از شیر زهکش کف مدل تخلیه شده و سپس خاک از سطح و همچنین با استفاده دریاچه تخلیه جانبی از مدل خارج گردید.

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}\right)}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در معادله بالا، SAR نسبت جذب سدیم (جذر میلی اکی

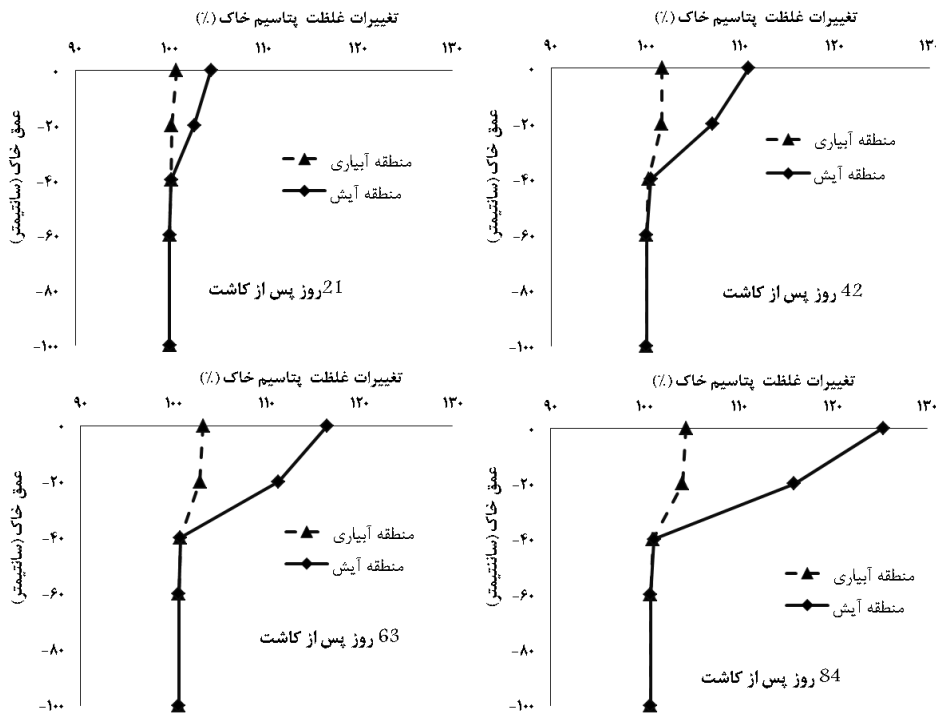


شکل ۴- نیمرخ تغییرات غلظت سدیم خاک منطقه آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری

شدیدتر از منطقه آبیاری بوده است. از سوی دیگر تجمع پتاسیم در هر دو منطقه آبیاری و آیش با کاهش عمق افزایش یافته و بیشترین مقدار آن در پایان آزمایش در سطح خاک مناطق مذکور و به میزان به ترتیب ۱۰۵ و ۱۲۵ درصد مقدار اولیه مشاهده شده است. البته میزان تجمع پتاسیم در لایه اشباع خاک در هر دو منطقه آبیاری و آیش یکسان بوده و در پایان آزمایش نسبت به شروع آن تغییری نداشته است.

#### پتاسیم

شکل (۵) نیمرخ تغییرات غلظت پتاسیم را در مناطق آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف پس از کاشت نسبت به شروع آزمایش نمایش می‌دهد. براساس این شکل، هر چند غلظت پتاسیم در هر دو منطقه با گذر زمان افزایشی بوده اما میزان این افزایش در منطقه آیش و از سطح خاک تا عمق ۴۰ سانتیمتری به علت مسیر حرکت آب در اثر سیستم زهکشی خشک بسیار

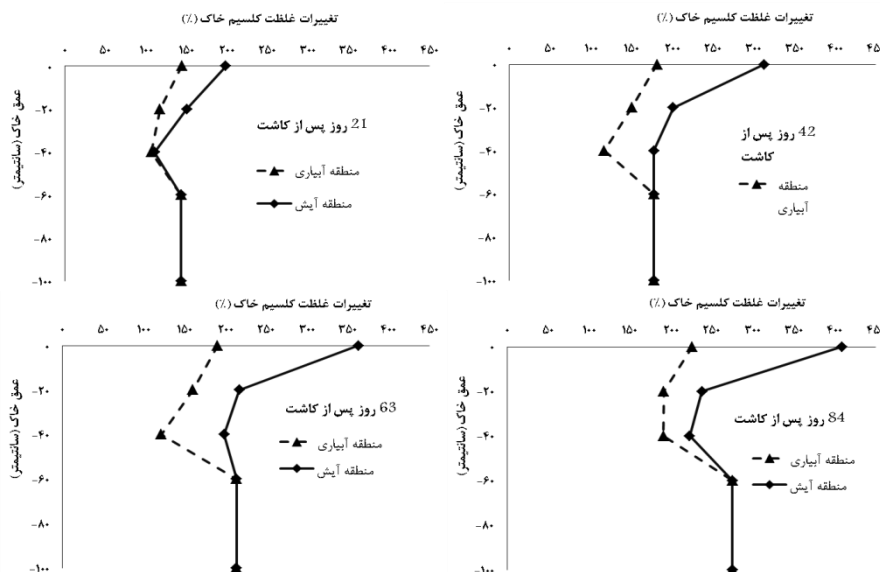


شکل ۵- نیمرخ تغییرات غلظت پتاسیم خاک منطقه آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری

**کلسیم**

شکل (۶) نیمرخ تغییرات غلظت کلسیم را در مناطق آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف پس از کاشت نسبت به شروع آزمایش نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل، غلظت کلسیم با گذر زمان در هر دو منطقه آبیاری و آیش افزایشی بوده است. بر مبنای شکل (۶)، تجمع کلسیم در ناحیه اشباع هر دو منطقه مشابه و در پایان دوره حداکثر به ۲۷۵ درصد مقدار نظیر در

شروع آزمایش رسیده است. همچنین در هر دو منطقه با کاهش عمق از سطح ایستابی (۶۰ سانتیمتری) شدت تجمع کلسیم ابتدا کاهش و سپس تا سطح خاک افزایش نشان داده است به طوری که حداکثر غلظت کلسیم در سطح خاک منطقه آبیاری و آیش به ترتیب ۲۲۶ و ۴۱۰ درصد زمان شروع آزمایش اندازه‌گیری شده است.

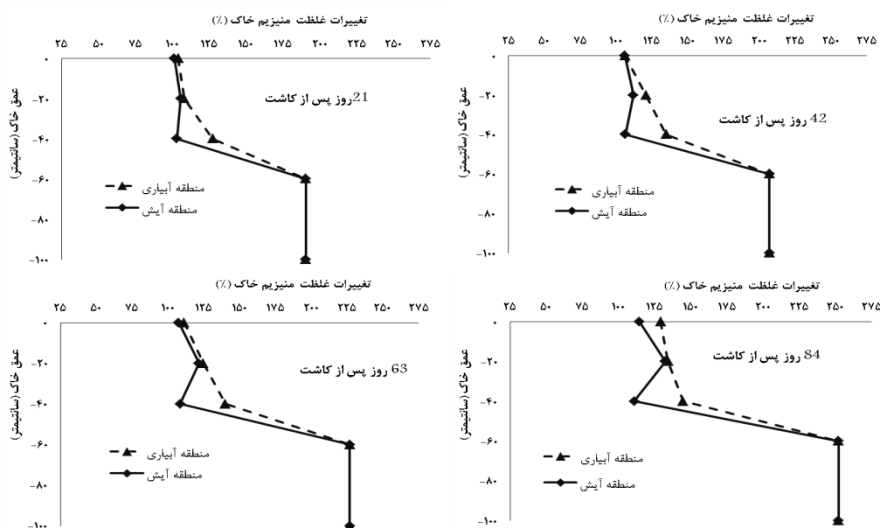


شکل ۶- نیمرخ تغییرات غلظت کلسیم خاک منطقه آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری

**منیزیم**

شکل (۷) نیمرخ تغییرات غلظت منیزیم را در مناطق آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف پس از کاشت نسبت به شروع آزمایش نمایش می‌دهد. مطابق این شکل، در هر دو منطقه آبیاری و آیش با افزایش عمق از سطح خاک، تجمع منیزیم افزایشی بوده و حداکثر افزایش آن در پایان آزمایش در ناحیه

اشباع به میزان مساوی ۲۵۰ درصد مقدار اولیه در شروع آزمایش رخ داده است. این در صورتی است که در انتهای آزمایش غلظت منیزیم نسبت به شرایط اولیه در منطقه آبیاری و همچنین آیش به ترتیب ۱۳۰ و ۱۱۵ افزایش داشته است. همچنین تغییرات مذکور در ناحیه غیر اشباع، در منطقه آیش اغلب کمتر از منطقه آبیاری بوده است.



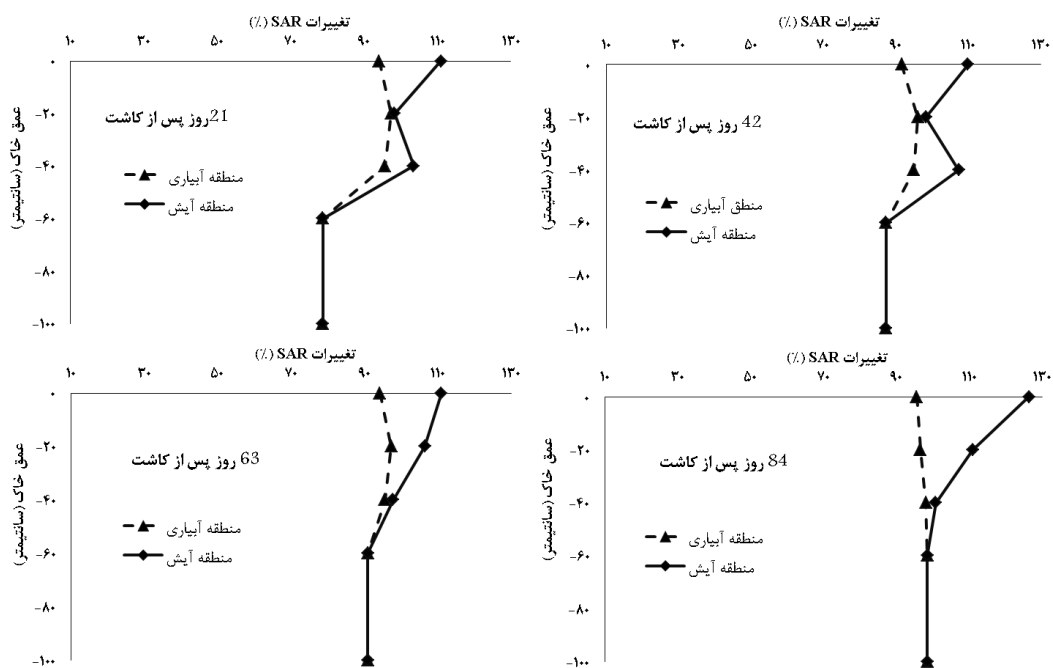
شکل ۷- نیمرخ تغییرات غلظت منیزیم خاک منطقه آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری



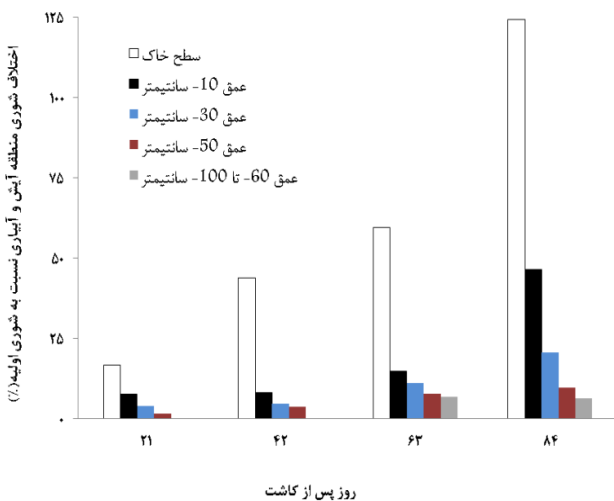
آزمایش نسبت به زمان شروع ۳ درصد کاهش یافته است. در حالی که در منطقه آیش این نسبت با کاهش عمق افزایش یافته و حداکثر آن در انتهای آزمایش به ۱۲۶ درصد مقدار ابتدایی رسیده است. این پدیده به این مفهوم است که غلظت سه یون سدیم، کلسیم و منیزیم در منطقه آبیاری به گونه‌ای تغییر که در کل مقدار نسبت جذب سدیم نسبت به شروع آزمایش تفاوت چندانی نداشته است. اما به دلیل انتقال بیشتر سدیم به منطقه آیش نسبت به دو یون دیگر، میزان نسبت جذب سدیم در این منطقه به خصوص در لایه‌های فوقانی خاک افزایش یافته است.

### نسبت جذب سدیم

شکل (۸) نیمرخ تغییرات نسبت جذب سدیم را در مناطق آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف پس از کاشت نسبت به شروع آزمایش نمایش می‌دهد. بر مبنای این شکل، با گذر زمان نسبت جذب سدیم در هر دو منطقه افزایشی بوده لیکن این افزایش همواره در ناحیه آیش بیشتر مشاهده شده ضمن آنکه در ناحیه اشباع خاک در هر دو منطقه مساوی بوده است. با توجه به نتایج تغییرات نسبت جذب سدیم با عمق در منطقه آبیاری چندان محسوس نبوده و به طور میانگین در پایان دوره



شکل ۸- نیمرخ تغییرات نسبت جذب سدیم خاک منطقه آبیاری و آیش در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری



شکل ۹- اختلاف شوری خاک منطقه آیش و آبیاری نسبت به شوری اولیه خاک در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری

### شوری

شکل (۹) اختلاف شوری اعماق متفاوت خاک منطقه آیش و آبیاری را نسبت به شوری اولیه خاک در زمان‌های مختلف در طول فصل آبیاری نشان می‌دهد. هر چند شوری خاک هر دو منطقه آبیاری و آیش در اعماق مختلف با گذر زمان افزایش یافته است اما میزان این افزایش در خاک منطقه آیش بیشتر بوده است. همچنین افزایش شوری بیان شده با کاهش عمق شدت یافته و به خصوص در سطح خاک منطقه آیش به بیشترین مقدار خود رسیده است. به عبارت دیگر به سبب اثر سیستم زهکشی خشک بر حرکت آب و انتقال املاح، نه تنها اختلاف شوری خاک بین منطقه آیش و آبیاری با افزایش عمق کاهش یافته است بلکه، با گذر زمان در عمق ثابت نیز این اختلاف افزایشی بوده است.

## مقایسه تغییرات غلظت کاتیون‌های مختلف

با توجه به شکل‌های (۴) تا (۷) می‌توان نتیجه گرفت شکل پروفیل (روند کلی) تغییرات غلظت سدیم و کلسیم در عمق خاک مشابه یکدیگر بوده است. همچنین بین تغییرات مذکور و پروفیل تغییرات یون پتاسیم و منیزیم تفاوت وجود داشته است. با توجه به شکل‌های یاد شده، تجمع سدیم و کلسیم در هر دو منطقه آبیاری و آیش هم در سطح خاک (با شدت بیشتر) و هم در ناحیه اشباع (با شدت بسیار کمتر) رخ داده است. این در حالی است که تجمع پتاسیم تنها در سطح خاک مشاهده شده و منیزیم بیشتر در اعماق خاک تجمع یافته است. شکل (۸) عدم تغییر چشمگیر نسبت جذب سدیم در منطقه آبیاری را بر خلاف منطقه آیش نشان می‌دهد. این مطلب حاکی از جایگزینی یون‌های دو ظرفیتی به جای یون‌های تک ظرفیتی و رانده شدن آن‌ها به سمت منطقه آیش با توجه به حرکت آب بوده است. این پدیده با توجه به رقابت بین کاتیون‌های مختلف به خصوص کاتیون‌های دو ظرفیتی نسبت به کاتیون‌های تک ظرفیتی در فرایند تبادل کاتیونی با ذراتی از خاک با بار منفی قابل توصیف است (Bohn, et al., 1979; Afyuni et al., 1997; Ehteshami et al., 1999). ضمن آنکه در شرایط وجود سیستم زهکشی خشک حرکت آب و املاح در منطقه آبیاری در جهت عمودی به سمت پایین و در جهت افقی در هر عمق به سمت منطقه آیش می‌باشد. در حالی که در منطقه آیش غالباً حرکت آب و املاح عمودی و به سمت بالا است. بنابراین با ورود کاتیون‌های مختلف توسط آب آبیاری به خاک منطقه کاشت، کاتیون‌هایی همچون منیزیم به مقدار بیشتر و کلسیم به مقدار کمتر جایگزین کاتیون‌های تک ظرفیتی شده و سبب رانده شدن آن‌ها به منطقه آیش می‌شوند. ادامه یافتن این پدیده باعث انتقال بیشتر کاتیون‌های غالب به آب زیرزمینی در اثر حرکت رو به پایین به دلیل تجمع آن‌ها در منطقه کاشت خواهد شد. املاح وارد شده به ناحیه اشباع خاک نیز به دلیل رطوبت زیاد در اثر

جریان توده‌ای به سرعت در کل این ناحیه پخش شوند و باعث یکنواختی غلظت در آب زیرزمینی هر دو منطقه آبیاری و آیش می‌شوند.

## نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر زهکشی خشک بر میزان و نحوه انتقال کاتیون‌های مهم و تغییرات هدایت الکتریکی در یک خاک لومی در شرایط کاشت گیاه جو با استفاده از یک مدل فیزیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاتیون‌های مختلف به مقدار متفاوت از منطقه آبیاری به منطقه آیش انتقال یافته‌اند. براساس نتایج، بیشترین افزایش میزان شوری در سطح خاک منطقه آیش رخ داده و با افزایش عمق خاک از این میزان کاسته شده است. در قسمت اشباع خاک و اعماق نزدیک به سطح ایستایی به دلیل رطوبت زیاد تحت تاثیر حرکت توده‌ای، تغییرات میزان شوری و غلظت کاتیون‌های مختلف در هر دو منطقه نزدیک به یکدیگر مشاهده شده است. از سوی دیگر، نحوه توزیع یون‌های سدیم و کلسیم به گونه‌ای بوده که آن‌ها اغلب در اعماق ۲۰ تا ۴۰ سانتیمتری از سطح خاک حداقل تجمع را داشته‌اند و در سایر اعماق به خصوص نزدیک به سطح خاک به شدت تجمع یافته‌اند. این درحالی است که یون پتاسیم اغلب به لایه‌های سطحی خاک منطقه آیش انتقال یافته و در مقابل یون منیزیم بیشتر دچار حرکت عمقی شده و به اعماق بیشتر خاک (ناحیه اشباع) هر دو منطقه آبیاری و آیش انتقال یافته است. لازم به ذکر است که هر چند براساس نتایج این پژوهش زهکشی خشک سبب انتقال کاتیون‌ها به منطقه آیش شده است اما این شیوه نوین نیازمند مطالعات بیشتر در مقیاس بزرگ‌تر و زمان‌های طولانی‌تر می‌باشد. بنابراین اگر چه نتایج تحقیق حاضر در برگیرنده همه شرایط احتمالی قابل رخ دادن در مزرعه و متناسب با وسعت آن نیست اما آغازی بر پژوهش‌های بیشتر در رابطه با اثر سامانه‌های زهکشی خشک در شرایط متفاوت بر حرکت املاح مختلف می‌باشد.

## REFERENCES

- Abbasi, F. (2013). *Advanced soil physics*. Iran. Tehran. University of Tehran Press. 320 pp. (In Farsi)
- Afyuni, A., Mojtabapur, R. Noorbakhsh, F. (1997). *Salt – affected soils and reclamation*. Iran. Isfahan. Arkan Danesh publications. 216pp. (In Farsi)
- Akram, S. Kashkouli, H. A. and Akram, M. (2008). Salinity and water table control in dry drainage. In: *Preceding of 10<sup>th</sup> International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage*. 6-11 July, Helsinki, Tallinn. pp. 385-386.
- Azari, A. (2004) Drainage by Capillary Flow and Evaporation, In: *3<sup>th</sup> technical Workshop of Drainage and Environment*. Tehran. Iran. (In Farsi)
- Barzegar, A. R. (2001) *Salt – affected soils: Diagnosis and productivity*. Iran. Ahwaz. Shahid Chamran University Press. 273 pp. (In Farsi)
- Bohn, H. L., Brian, L., Oconnor, G. A. (1979) *Soil Chemistry*. John Wiley and Sons. New York. 343pp.
- Bybordi, M. (2008) *Principles of Land Drainage (10th ed.)*. Iran. Tehran. University of Tehran Press. 641 pp. (In Farsi)
- Doosti, A., Sotoodehnia, A., Liaghat, A. M. and Daneshkar Arasteh, P. (2014). Simulation of Dry

- Drainage to Determine the Ratio of the Width of Non-Cropped to Cropped strip. *Iranian journal of water and soil researches*. 45(1) 47-54, (In Farsi).
- Ehteshami, M., Ashke Torab, H., Siyahi, M. K. (1999) *Agricultural salinity and drainage*. Iran. Tehran. Iranian National Committee on Irrigation and Drainage Publications. 160 pp. (In Farsi)
- Environmental Criteria of Return Water and Wastewater Reuse. (2010) Deputy Strategic. Iranian Oversight of the Presidency. 535. 155pp. (In Farsi)
- Growling, J. W. and Wyseure, G. C. L. (1992) Dry-drainage a sustainable and cost-effective solution to waterlogging and salinization, In: *Proceeding of 5<sup>th</sup> International Drainage Workshop*, Vol.3, ICID-CIID, Lahore Pakistan, pp:626-634.
- Hajabbasi, M. A. (2007) *Soil physical properties*. Iran. Isfahan. Isfahan University of Technology Press. 288pp. (In Farsi)
- Iranian technical Instruction of Barley Agriculture. (2013) Department of Plant Production. Office of Cereals, legumes and fodder plants. Ministry of Agriculture. 37 pp. (In Farsi)
- Jia, Z. and Evans, R. O. (2006) Effect of controlled drainage and vegetative buffers on drainage water quality from wastewater irrigation field. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering ASCE*. 132(3):159-170.
- Khouri, N. (1998) Potential of dry drainage for controlling soil salinity. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 25:195-205.
- Konukcu, F., Growling, J. W. and Rose, D. A. (2006) Dry drainage: A sustainable solution to waterlogging and salinity problems in irrigation areas?, *Agricultural Water Management*. 83:1-12.
- Kovda, V. A. (1971). Origin of saline soils and their regime. Jerusalem: Israel Program for Scientific Translations, 168-172.
- Lindsay, W. L. (1979) *Chemical Equilibria in soils*. John Wiley and Sons. New York. 449pp.
- Malik, M., Mustafa, M. A. M. A. And Letey. J. (1992) Effect of mixed Na/Ca solutions on swelling, dispersion and Transient water flow in unsaturated montmorillonitic soils. *Geoderma*. 52: 17-28.
- Mostafazadeh- Fard, B. (2007) *Drairage Engineering*. Kankash Publication. 425 pp. (In Farsi)
- Salardini, A. A. (1983) *Soil Fertility*. Iran. Tehran. University of Tehran Press. 428 pp. (In Farsi)
- Shimajima, E. Yoshioka, R. and Tamagawa, I. (1996). Salinization owing to evaporation from bare-soil surfaces and its influences on the evaporation. *Journal of Hydrology*, 178(1-4), 109-136.
- Soltani, M., Rahimikhoob, A. and Sotoodehnia, A. (2017). Effect of ratio of cropped to uncropped width on root zone salinity in dry drainage. *Iranian journal of water and soil researches*, 48 (3), 555-563. (In Farsi)
- Soltani, M., Rahimikhoob, A., Sotoodehnia, A., Mendicin, G., Akram, M. and Senatore, A. (2018). Numerical evaluation of the effects of increasing ration of cropped to uncropped width on dry drainage efficiency in salty soils. *Irrigation and drainage (ICID)*, DOI: 10.1002/ird.2199.
- WARDA (West Africa Rice Development Association). (1997). Annual Report, pp.36-44.
- Wichelns, D. and Oster, J. D. (2006). Sustainable irrigation is necessary and achievable, but direct costs and environmental impacts can be substantial. *Agricultural Water Management*, 86(1-2): 114-127.
- Wu, J. W. Zhao, L. R. Huang, J. S. Yang, J. Z. Vincent, B. Bouarfa, S. and Vidal, A. (2009). On the effectiveness of dry drainage in soil salinity control. *Science in China Series E: Technological Sciences*, 25, 3328-3334.