DOI: 10.22059/ijswr.2018.246316.667797 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۶، بهمن و اسفند ۱۳۹۷ (ص ۱۲۵۵-۱۲۴۳)

Evaluation of Subsurface Drainage Performance on Phaseolus *vulgaris l.* Growth Using Physical Model

NASTIA MEMARI[1], MARYAM NAVABIAN[2 *], NADER PIRMORADIAN[3], MASOUD ESFAHANI[4]

1. M. Sc. Student, Water Engineering and Environment Department, Caspian Sea Basin Research Center, University of Guilan, Rasht, Iran
2. Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
3. Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran
4. Professor, Agronomy and Plant Breeding Department, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

(Received: Dec. 2, 2017- Revised: Apr. 14, 2018- Accepted: Apr. 22, 2018)

ABSTRACT

Subsurface drainage system is required to eliminate water logging and establish planting condition for the second crops in the autumn and winter seasons in the large part of paddy fields in northern Iran. Proper depth and distance in a drainage system minimizes the negative effects of drainage effluents on the environment. This research was carried out in a physical model scale of paddy fields in agricultural faculty of Gillan University during 1396 to evaluate the qualitative and quantitative performance of the subsurface drainage in the second crop cultivation. The *phaseolus vulgaris l.* crop was planted in the physical model after filling the box with the soil of paddy fields and creating the hard pan layer at the depth of 15 cm. Drainage water and soil solution samples were collected during the occurrence of precipitation and their electrical conductivity, acidity, sodium, calcium, magnesium, nitrate and orthophosphate parameters were measured. The pressure head and drainage discharge were measured before and after precipitation events. The trend of electrical conductivity of the drainage water was decreased 60% as compared to the initial value and the amounts of sodium adsorption ratio (SAR) were oscillated due to precipitation and calcium and magnesium adsorption in the soil. The maximum amount of nitrate in the drainage water was 46.9 mg/l at the beginning of the crop growth period, which exceeded the permissible level of drainage discharge into the environment and indicates the importance of fertilizer management. The concentration of nitrate in the soil was affected by the distance from the drain, while the concentration of orthophosphate was not affected. The mean values of pressure head (7-17 cm) with respect to the root depth, showed an efficient drainage performance regarding to the drainage discharge and no water logging at the root depth during the growth period.

Key words: Pressure head, Salinity, Root depth, Nitrate

*Corresponding Author's Email: Navabian@guilan.ac.ir

ارزیابی عملکرد زهکش زیرزمینی بر رشد گیاه لوبیا محلی در اراضی شالیزاری با استفاده از مدل فیزیکی

ناستیا معماری[۱]، مریم نوابیان[۲]، نادر پیرمرادیان[۳]، مسعود اصفهانی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان و عضو وابسته پژوهشی پژوهشکده حوضه آبی دریای خزر دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

۴. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۱/ ۹/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲۵/ ۱/ ۱۳۹۷- تاریخ تصویب: ۲/۲/ ۱۳۹۷)

چکیده

برای رفع وضعیت ماندابی قسمت وسیعی از شالیزارهای شمال ایران و تأمین شرایط کشت در فصل‌های پاییز و زمستان، احداث سامانه‌های زهکشی زیرزمینی ضروری است. عمق و فاصله مناسب زهکش‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی، باعث به حداقل رساندن اثر منفی تخلیه زه‌آب‌ها به محیط زیست می‌شود. این پژوهش به‌منظور بررسی عملکرد کیفی و کمی زهکش زیرزمینی در مقیاس مدل فیزیکی در سال ۱۳۹۶ در دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. پس از آماده‌سازی مدل فیزیکی و پر کردن مخزن با خاک شالیزاری و ایجاد لایه سخت در عمق ۱۵ سانتی‌متری خاک، کشت گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا) انجام شد. در زمان وقوع بارندگی از زه‌آب و عصاره خاک نمونه‌برداری شده و پارامترهای هدایت الکتریکی، اسیدیته و غلظت عناصر سدیم، کلسیم، منیزیم، نیترات و ارتوفسفات اندازه‌گیری شد. دبی خروجی زهکش و بار آبی با پیزومترهای نصب شده در مخزن در زمان قبل و بعد از وقوع باران قرائت شد. در طول اجرای آزمایش، روند تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب به میزان ۶۰ درصد کاهشی و نسبت جذب سدیم (SAR) با توجه به مقدار بارش و جذب کلسیم و منیزیم خاک نوسانی بود. حداکثر مقدار نیترات زه‌آب ۴۶/۹ میلی‌گرم بر لیتر در ابتدای دوره رشد گیاه مشاهده شد که فراتر از حد مجاز تخلیه زه‌آب به محیط زیست بوده و اهمیت مدیریت کود را نشان می‌دهد. غلظت نیترات در خاک تحت تأثیر فاصله از زهکش قرار گرفت در حالی که غلظت ارتوفسفات تحت تأثیر فاصله از زهکش نبود. میانگین مقادیر بار آبی (۱۷-۷ سانتی‌متر) با توجه به عمق توسعه ریشه گیاه، کارآمدی عملکرد زهکش در خروج زه‌آب و عدم مشکل آبگرفتگی ریشه گیاه در طول دوره رشد را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: بار آبی، شوری، عمق ریشه، نیترات

مقدمه

افزایش جمعیت و محدودیت اراضی قابل کشت، تولید محصولات کشاورزی با بهره‌وری بیش‌تر در واحد سطح را ضروری ساخته است. یکی از روش‌های افزایش بهره‌وری در کشاورزی، توسعه کشت دوم است که می‌تواند در اقتصاد خانوارهای روستایی نقش مؤثری داشته باشد (Alizadeh *et al*., 2016). در استان گیلان کشت دوم به دلیل آب‌گرفتگی بخش زیادی از اراضی شالیزاری در فصل پاییز و زمستان از رونق کمی برخوردار است. زهکشی یک زیرساخت اصلی برای حل آبگرفتگی اراضی شالیزاری به منظور ایجاد شرایط مناسب برای کشت دوم محسوب می‌شود. "زهکشی فرآیند خارج کردن آب سطحی اضافی و مدیریت سفره آب زیرزمینی کم‌عمق از طریق نگهداشت، دفع و مدیریت کیفیت آب برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی در عین حفظ محیط زیست است (Abdel Dayem *et al*., 2005).

از آنجا که حرکت آب و انتقال املاح به سمت زهکش از خصوصیات زهکش تأثیر می‌پذیرد، طراحی و مدیریت زهکش می‌تواند نقش بسزایی در کنترل املاح و کاهش آلودگی داشته باشد. عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی دو شاخص مهم در طراحی سامانه‌های زهکشی بوده که نقش تعیین‌کننده‌ای در مقدار و کیفیت زه‌آب‌های خارج‌شده از لوله‌های زهکشی دارند. به دلیل اثر پیچیده عمق نصب زهکش بر عملکرد گیاه، هزینه طراحی و آثار زیست‌محیطی زه‌آب حاصل از زهکشی، عمق نصب زهکش‌ها باید به گونه‌ای تعیین شود که حداکثر بازده اقتصادی

نویسنده مسئول: Navabian@guilan.ac.ir

با حداقل اثرات سوء زیست محیطی را داشته باشند (Nazari *et al*., 2008). Darzi *et al* (2013) اثر هیدرولوژیکی سامانه‌های مختلف زهکشی را در شرایط اراضی شالیزاری مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که زهکش‌های کم‌عمق در کنترل سطح ایستابی در مقایسه با زهکش‌های عمیق مؤثرتر بودند که با نتایج پژوهش‌های قبلی مغایرت داشت. دلیل این موضوع را می‌توان به هدایت آبی اشباع کم خاک‌های شالیزاری نسبت داد.

نتایج پژوهشی در اراضی فاریاب جنوب شرقی استرالیا با دو عمق نصب زهکش عمیق (۱/۸ متری و به فاصله ۲۰ متر) و زهکش کم‌عمق (۰/۷ متری به فاصله ۳/۶متر) نتایج نشان داد که با تغییر زهکش‌های عمیق با فاصله زیاد به زهکش‌های کم‌عمق با فاصله کم، تلفات آبیاری کاهش یافته و کاهش حجم زه‌آب باعث کنترل بهتر سطح ایستابی شده و بدین طریق بخشی از آب مورد نیاز گیاه در خاک حفظ می‌شود (Christan and Skehan., 2001).

Manjunatha *et al*. (2004) سامانه زهکش زیرزمینی که به منظور اصلاح اراضی شور و ماندابی در منطقه تانگابهادرا[1] هندوستان احداث شده بود را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که سامانه زهکشی سطح ایستابی و شوری خاک را پایین آورده و سبب افزایش عملکرد محصول شد. در بررسی اثر زهکشی زیرزمینی با عمق یک متر و فواصل ۱۵ و۳۰ متر بر تولید محصول و کیفیت آب و خاک در کوتناد[2] هند مشخص شد که زهکشی زیرزمینی در آبشویی سدیم، کلسیم و منیزیم بسیار مؤثر بود و میزان کلراید خاک را به شدت کاهش داد (Mathew *et al*., 2001).

Mansoori Sarinjaneh (2005) با بررسی پارامترهای طراحی سامانه‌های زهکشی زیرزمینی در پروژه آبیاری و زهکشی طرح توسعه نیشکر خوزستان نشان داد که استفاده از زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی و خروج نمک از پروفیل خاک موفقیت آمیز بوده است. بررسی عملکرد سامانه‌های زهکش زیرزمینی کم‌عمق (کمتر از یک و نیم متر) در خوزستان نشان داد که کاهش عمق نصب زهکش موجب تولید زه‌آب کم‌تر و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی می‌شود (Naseri and Arvahi, 2009).

Moazeni *et al*. (2016) با بررسی عملکرد زهکش در کشت گیاه تریتیکاله در اراضی شالیزاری با بافت خاک لوم سیلتی نشان دادند که با افزایش عمق نصب زهکش، مقدار هدایت الکتریکی افزایش و مقدار نسبت جذب سدیم (SAR) کاهش یافت. روند تغییرات مقدار هدایت الکتریکی در طول دوره آزمایش کاهشی بود به طوری که در انتهای دوره هدایت الکتریکی زه‌آب دو زهکش با عمق نصب ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر نسبت به ابتدای دوره آزمایش به ترتیب ۵۳ و ۸ درصد کاهش داشت. بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که زهکش‌های عمیق، نیتروژن بیش‌تری را از منطقه ریشه و دسترس گیاه خارج می‌کنند (Smedma, 2007). همچنین در پژوهشی نشان داده شد که در شرایطی که سطح ایستابی در بازه‌های زمانی معینی در رقوم بالا قرار داشته باشد، اثر نیترات‌زدایی افزایش می‌یابد و در کاهش آلودگی نیتروژن- نیترات بسیار موثر است (Ranjkesh ziabari *et al*., 2015).

Aslani *et al*. (2010) در آزمایشی اثر نصب لوله‌های زهکشی در اعماق مختلف و با فواصل مختلف بر کیفیت زه‌آب در شرایط ماندگار و غیرماندگار را با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی (Visual MODFLOW) بررسی نمودند. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش‌ها، هدایت الکتریکی، اسیدیته، کل جامدات محلول و غلظت نیتروژن زه آب و همچنین شدت زهکشی افزایش می یابد. آزمایشی به‌منظور شبیه‌سازی تأثیر عمق‌های مختلف زهکش بر مقدار زه‌آب، شوری ناحیه ریشه و عمق سطح ایستابی در ترکیه انجام شد. نتایج نشان داد زمانی که عمق زهکش ۱/۲متر در نظر گرفته شده بود، بعد از یک دوره ۱۰ ساله، ۸۰ درصد خاک به ترتیب در کشت اول و کشت دوم شوری کم‌تر از ۲/۷۲ و ۲/۳۶ دسی زیمنس بر متر را نشان داد (Bahceci *et al*., 2006).

در آزمایشی اثر عمق نصب زهکش بر شوری زه‌آب خروجی در یک مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بیش‌ترین شوری خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق‌های ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸۵ متری به ترتیب برابر ۱/۴۳، ۶/۵۵ و ۸/۱۳۱ دسی‌زیمنس بر متر بود. بنابراین، کاهش عمق نصب زهکش‌ها موجب بهبود کیفیت آب خروجی شد (Razi *et al*., 2012). Nangia *et al* (2010) در پژوهشی به‌منظور بررسی اثر عمق و فاصله نصب زهکش بر میزان تلفات نیتروژن از مدل ADAPT استفاده نمود. آن‌ها نشان دادند که کاهش عمق یا افزایش فاصله زهکش‌ها موجب کاهش شست‌وشوی ۵۱ درصدی نیترات می‌شود، در حالی که میزان محصول فقط هفت درصد کم‌تر از حداکثر تولید کاهش یافت.

Momen nejad (2017) به بررسی اثر عمق زهکش زیرزمینی بر روی غلظت کل املاح زه‌آب زهکش در عمق‌های ۴۰، ۵۰ و ۷۰ سانتی‌متری در زراعت برنج پرداخت. نتایج نشان

1. Tungabhadra
2. Kuttanad

داد که روند غلظت املاح پس از اعمال زهکشی کاهشی و به ترتیب در اعماق ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متری ۳۴، ۴۵ و ۵۰ درصد بود.

پاچ‌باقلا (لوبیا محلی) یک اصطلاح محلی در استان گیلان است که برای انواعی از لوبیا که در نوع مصرف مشترک هستند به کار می‌رود و به دلیل سازگاری این گیاه با شرایط اقلیمی استان گیلان، به عنوان گیاه مناسب در الگوی کشت دوم، کشت آن رو به افزایش بوده به‌گونه‌ای که سطح زیر کشت آن در استان گیلان تا ۱۹۰۰۰ هکتار توسعه یافته است (Dori *et al.*, 2013). دانه‌های این گیاه با داشتن حدود ۲۲ درصد پروتئین از نظر ارزش غذایی جایگزین خوبی برای پروتئین‌های حیوانی است (Bagheri et al., 1997). پاچ‌باقلا گیاهی است که برای رشد مناسب و دادن محصول با کیفیت وابسته به گرما همچنین باد و رطوبت است. دمای مناسب برای رشد آن ۱۶ تا ۲۶ درجه بوده و همچنین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر بارندگی در طول فصل رشد نیاز دارد. (Romero *et al.*, 2013). این گیاه در تمام خاک‌ها به‌خصوص خاک‌هایی با بستر ملایم و سبک همراه با زهکشی خوب قادر به رشد است (Balkaya and Odabas., 2002).

از آنجا که مطالعات محدودی در خصوص زهکشی در اراضی شالیزاری صورت گرفته است و با توجه به نقش کشت دوم در بهبود معیشت کشاورزان و جایگاه غذایی و بازارپسندی گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا) در استان گیلان، عملکرد زهکش در کشت گیاه لوبیا محلی در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بررسی اثر زهکشی بر فرآیند انتقال املاح (کود) در کشت گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا) هدف دیگر این پژوهش بود.

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی عملکرد کمی و کیفی زهکش در کشت گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا)، یک محیط کنترل‌شده در مقیاس مدل فیزیکی از اراضی شالیزاری با هدف امکان اجرای کشت دوم ساخته‌شد. برای ساخت مدل فیزیکی، مخزنی به طول سه، عرض ۰/۶ و ارتفاع یک متر طراحی شد. لوله زهکش از جنس پلی اتیلن با قطر ۱۰ سانتی‌متر و پوشش ژئوتکستایل با اندازه منافذ ۴۵۰ میکرومتر بود که در عمق ۷۰ سانتی‌متری با شیب طولی ۰/۱درصد نصب گردید. خاک مخزن از عمق توسعه ریشه اراضی شالیزاری دانشگاه گیلان تهیه شد و پس از خشکاندن، کوبیدن و عبور دادن از الک پنج میلی‌متری در مخزن با تراکم ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب (تراکم غالب خاک در منطقه) ریخته شد. برخی مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش در جدول (۱) ارائه شده‌است. به‌منظور بررسی اثر زهکشی بر انتقال املاح و در نتیجه خصوصیات شیمیایی خاک، عصاره‌گیرهایی به صورت افقی در موقعیت‌های نشان داده شده در شکل (۱) و همچنین برای بررسی روند تغییرات بار آبی پیزومترهایی در تراز زهکش نصب شدند. شمای کلی مدل فیزیکی و محل قرارگیری زهکش زیرزمینی و پیزومترها در شکل (۱) نشان داده شده است.

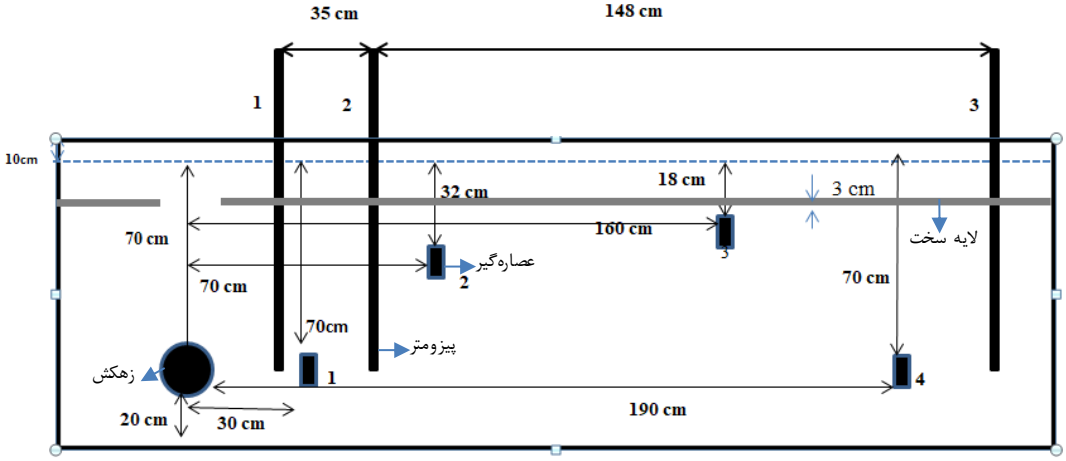
جدول ۱- برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	تخلخل (درصد)	ارتوفسفات بر حسب فسفر (میلی‌گرم بر لیتر)	نیترات (میلی‌گرم بر لیتر)	جرم مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	هدایت آبی اشباع (سانتی‌متر بر روز)
رس سیلتی	۴۱	۴۴/۵	۱۴/۵	۵۴	۰/۰۳۴	۴/۴۲	۱/۳۵	۵/۰۲

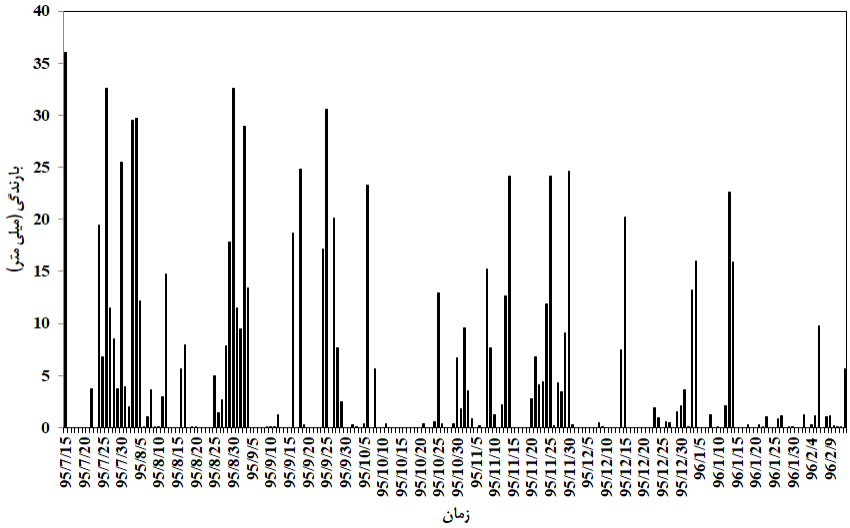
بذرهای گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا) بعد از آماده‌سازی مدل فیزیکی در تاریخ ۹۵/۷/۱۴ به فاصله ۱۲ سانتی‌متر روی ردیف در دو ردیف با فاصله ۴۰ سانتی‌متر به تعداد یک بذر در هر کپه کشت شد. بر خلاف دوره کشت برنج که زهکشی به صورت کنترل شده اجرا می‌شود، در کشت دوم لوبیا، زهکش در طول دوره رشد گیاه باز بود. به دلیل وقوع باران زیاد در طول دوره رشد گیاهان کشت دوم (پاییز و زمستان)، آبیاری انجام نشد. بنابراین محدوده عملکرد زهکش‌ها و زمان بررسی آن‌ها در زمان وقوع بارندگی‌ها بود. مقادیر بارندگی در طول دوره آزمایش در شکل (۲) نشان داده شده‌است. بر اساس نتایج آزمون خاک، کود نیتروژن به مقدار ۲۱/۷ گرم و پتاسیم نیز به اندازه ۳۹/۱ گرم پس از حل در آب و فسفر به میزان ۳۶ گرم به‌صورت جامد در عمق هفت سانتی‌متری به خاک اضافه شد.

با وقوع هر بارندگی از زهکش و عصاره‌گیرهای نصب شده نمونه آب برداشت شد و مقادیر نیترات و ارتوفسفات آن‌ها با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر شرکت JENWAY مدل 6705 (Standard Methods for the Examinition of Water and Wastwater, 1999) و پارامترهای هدایت الکتریکی و اسیدیته با استفاده از دستگاه‌های هدایت الکتریکی شرکت JENWAY مدل 4520 و pHسنج شرکت Crison مدل BASIC

20+ اندازه‌گیری شد. غلظت سدیم به‌روش فلیم‌فتومتری شرکت JENWAY مدل PFP7 و غلظت کلسیم و منیزیم به‌روش تیتراسیون (Standard Methods for the Examinition of Water and Wastwater, 2017) اندازه‌گیری شدند.



شکل ۱- نمای مخزن، محل جایگذاری زهکش، عصاره‌گیرها و پیزومتر



شکل ۲- مقادیر بارندگی در طول دوره آزمایش (ایستگاه هواشناسی تحقیقات کشاورزی رشت)

در زمان وقوع باران، دبی زهکش و بار آبی در پیزومترها قرائت شدند که در مجموع تعداد ۱۷ بار قرائت انجام شد. برای اندازه گیری دبی به روش حجمی از رابطه (۱) استفاد شد.

$$Q = \frac{V}{t}$$ (رابطه ۱)

که در آن: Q مقدار دبی بر حسب لیتر بر ساعت، V حجم زه‌آب خروجی بر حسب لیتر و t مدت زمان خروج زه‌آب بر حسب ساعت هستند.

عکس‌العمل زهکش در تخلیه باران را می‌توان با توجه به مقادیر ضریب عکس‌العمل زهکشی تعیین نمود. ضریب عکس‌العمل در طول مدت آزمایش برای باران یک روزه در دو مرحله با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد.

$$\alpha = \frac{\ln h_{(t-1)} - \ln h_{(t)}}{\Delta t}$$ (رابطه ۲)

که در آن، $h_{(t-1)}$ مقدار بار آبی در روز ما قبل بارش و h_t مقدار بار آبی در روز بارش و Δt فاصله زمانی بین دو قرائت بار آبی می‌باشند.

به‌منظور بررسی اثر زهکش زیرزمینی بر کاهش سطح ایستابی در عمق مناسب ریشه گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا) (عملکرد کمی) و تعیین تاثیر آن بر انتقال املاح در خاک و خروج آن‌ها از زهکش (عملکرد کیفی)، روند تغییرات دبی خروجی از زهکش، بار آبی و پارامترهای کیفی EC، pH، SAR، اسیدیته، نسبت جذب سدیم، نیترات و ارتوفسفات زه‌آب و عصاره خاک نسبت به زمان در طول مدت آزمایش رسم شدند. همچنین از نرم‌افزار SPSS برای بررسی اثر فاصله از زهکش بر غلظت نیترات و فسفات عصاره خاک استفاده شد.

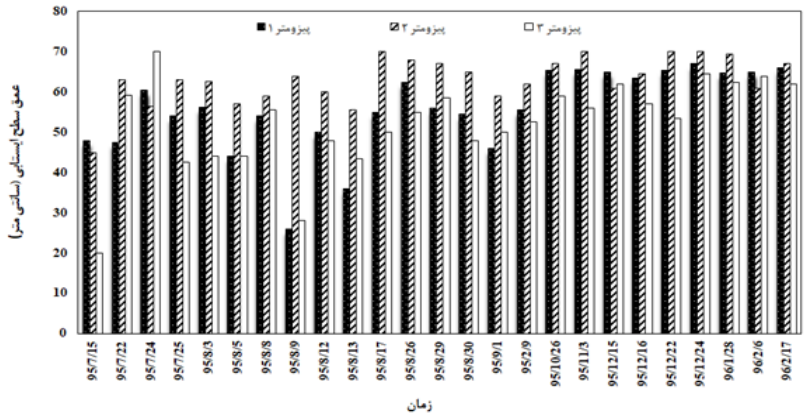
نتایج و بحث

عملکرد زهکش بر استقرار سطح آب در عمق توسعه ریشه گیاه لوبیا

سطح ایستابی از تفاضل عمق نصب پیزومتر از بارآبی محاسبه شد. از آنجا که توان زهکش در کنترل سطح ایستابی در عمق توسعه ریشه بررسی می‌شود، مقادیر سطح ایستابی در موقعیت هر یک از پیزومترها نسبت به زمان در شکل (۳) نشان داده شده‌است. تغییرات مقادیر بارندگی (شکل ۲) و روند تغییرات عمق سطح ایستابی نشان داد که نوسان سطح ایستابی در هر پیزومتر از بارندگی همان روز و روزهای قبل تاثیر می‌پذیرد. میانگین مقادیر بار آبی در پیزومترهای ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۱۴/۲۵، ۷/۲۲ و ۱۷/۶۲ سانتی‌متر به‌دست آمد که با توجه به فاصله زهکش از سطح خاک و مقادیر متوسط بار آبی، سطح ایستابی به‌طور میانگین در طول دوره رشد در عمق حدود ۵۰ سانتی‌متری کنترل شد. کنترل سطح ایستابی در عمق یادشده با توجه به سطحی بودن ریشه گیاه لوبیا محلی (پاچ‌باقلا) (۳۰-۲۰ سانتی‌متر) و وجود لایه سخت در اراضی شالیزاری که عامل کاهش توسعه‌یافتگی ریشه است، منجر به عدم ایجاد مشکل آبگرفتگی ریشه گیاه در طول دوره رشد شد.

مقادیر بار آبی هر پیزومتر نسبت به فاصله آن‌ها از زهکش در شکل (۴) نشان داده شده‌است. مقادیر بار آبی در پیزومترهای کناری زهکش و نوسان مقادیر بار آبی در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد که توانایی زهکش در تخلیه زه‌آب به خصوصیات بارش بستگی دارد به طوری‌که بارش‌های متوالی با مقدار زیاد (در تاریخ‌های ۹۵/۸/۵، ۹۵/۸/۱۲ و ۹۵/۹/۱) منجر به افزایش بار آبی در پیزومتر نزدیک به زهکش شد. مقادیر ضریب عکس‌العمل زهکش نسبت به باران در جدول (۲) ارائه شده‌است. مقایسه ضریب عکس‌العمل در دو مرحله نشان داد که میزان ذخیره آب در خاک حاصل از بارش‌های روزهای ماقبل تأثیر بسیاری بر مقدار عکس‌العمل زهکش در تخلیه آب از پروفیل خاک دارد. بیش‌تر بودن ضریب عکس العمل در تاریخ ۹۵/۸/۹ به دلیل توالی ۱۴ روز باران نسبت به ۱۲ روز باران در تاریخ ۹۵/۸/۷ است.

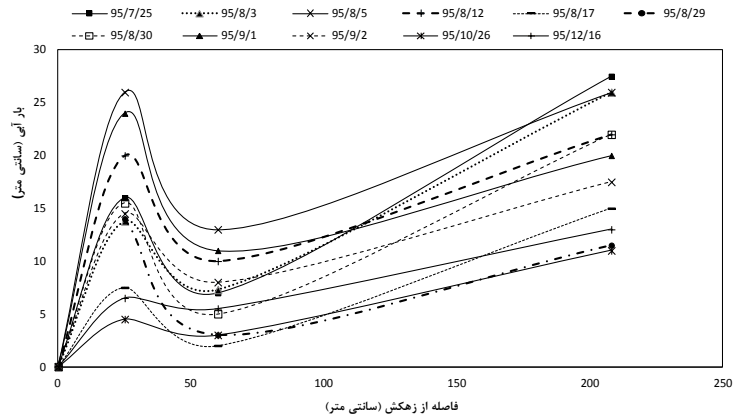
در طول دوره آزمایش تعداد دو روز آب‌گرفتگی عمق توسعه ریشه و مجموع مقدار بالا آمدن سطح آب از عمق توسعه ریشه ۲۲ سانتی‌متر مشاهده شد. هرچند مقادیر مشاهده شده بار آبی در پیزومترها نشان‌دهنده ایجاد شرایط بحرانی برای آبگرفتگی تمام عمق توسعه ریشه نیست، اما در صورت بارش‌های با شدت و طول مدت بیشتر امکان آسیب‌دیدگی بیشتر وجود دارد. بنابراین ایجاد توان بیشتر برای تخلیه زه‌آب با انتخاب فاصله کمتر یا افزایش عمق زهکش برای کشت گیاه لوبیا محلی در اراضی شالیزاری استان گیلان قابل‌توصیه است که از میان این دو گزینه افزایش عمق با توجیه اقتصادی و فنی بیشتری همراه است. روند بار آبی نسبت به فاصله از زهکش از شرایط نرمال زهکشی تبعیت نکرد (زیاد شدن بار آبی در نزدیکی زهکش) که علت آن را می‌توان به زیاد بودن مقاومت ورود آب به داخل زهکش و یا گرفتگی پوشش دور زهکش نسبت داد.



شکل ۳- تغییرات سطح ایستابی در طول دوره رشد گیاه لوبیا محلی (پاچ باقلا) (مهر ۱۳۹۵ تا اردیبهشت ۱۳۹۶)

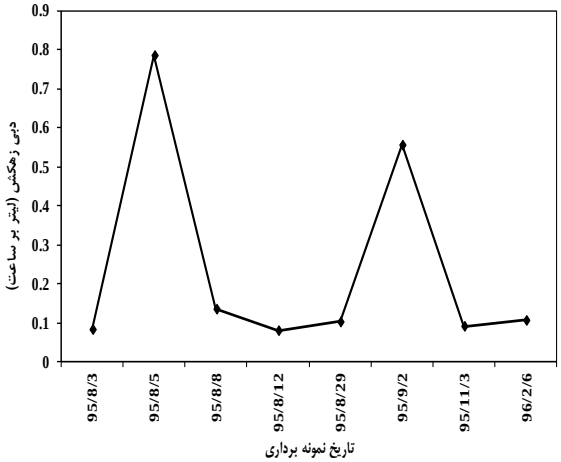
جدول ۲- ضریب عکس‌العمل زهکش طی دو مرحله صفر شدن تغذیه خاک (قطع شدن باران)

تاریخ	بار آبی (سانتی‌متر)	فاصله زمانی قرائت پیزومتر (روز)	ضریب عکس‌العمل (عکس روز)
۹۵/۸/۶	۲۵		
			۰/۳
۹۵/۸/۷	۱۷	۱	
			۰/۹
۹۵/۸/۹	۴۲	۰/۶	
۹۵/۸/۹	۲۴		



شکل ۴- متوسط بار آبی هر پیزومتر نسبت به فاصله از زهکش

تغییرات میانگین دبی خروجی از زهکش در هنگام بارندگی در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است شدت بارندگی و طول دوره بارش (رطوبت خاک) در میزان خروج زه‌آب از زهکش تاثیر مستقیم دارد. مقدار و طول دوره جمع‌آوری زه‌آب در هر بارش در جدول (۳) ارائه شده است. بیشترین مقدار زه‌آب در تاریخ ۹۵/۸/۵ مشاهده شد این در حالی است که در تاریخ ۹۵/۹/۲ نیز با مقدار بارش تقریبا برابر در طول دوره اندازه‌گیری، حجم زه‌آب کمتری خارج شد. تفاوت حجم زه‌آب خروجی در دو تاریخ یادشده تحت تاثیر پیوستگی بارش در روزهای ماقبل قرار گرفت به طوری‌که زه‌آب تاریخ ۹۵/۸/۵ حاصل ۱۰/۲ روز متوالی بارش و زه‌آب ۹۵/۹/۲ حاصل پنج روز متوالی بارش است.



شکل ۵- دبی خروجی زهکش‌ها در زمان بارندگی

جدول ۳- مقادیر و طول دوره بارش در زمان‌های اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش

تاریخ اندازه‌گیری	۹۵/۸/۳	۹۵/۸/۵	۹۵/۸/۸	۹۵/۸/۱۲	۹۵/۸/۲۹	۹۵/۹/۲	۹۵/۱۱/۳	۹۶/۲/۶
مقدار بارش (میلی‌متر)	۱۱۲/۵۰	۶۲/۸۶	۱۰/۷۲	۷/۵۸	۱۶/۸۲	۵۹/۴۱	۱۹/۴۳	۸/۳۴
مدت بارش (روز)	۸/۰	۲/۲	۲/۴۵	۳/۰	۳/۰	۳/۰	۴/۰	۸/۰

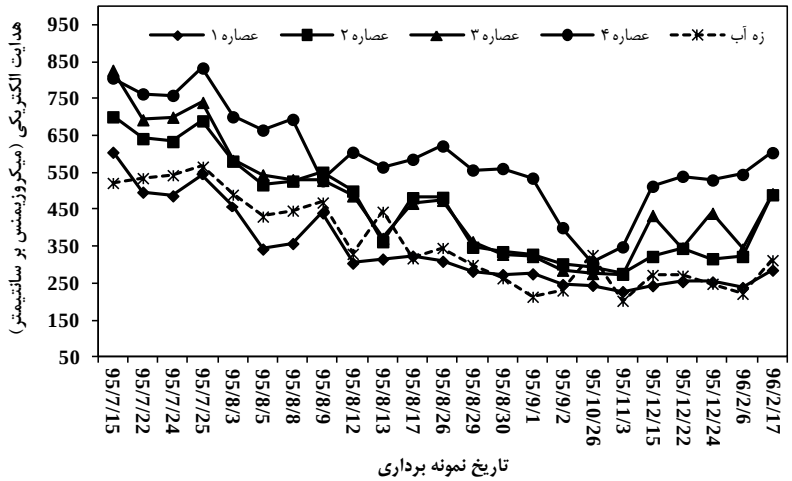
بررسی روند تغییرات پارامترهای کیفی خاک و زه‌آب

روند تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب و عصاره‌های خاک نسبت به زمان در شکل (۶) ارائه شده‌است. همان‌طور که در شکل مشخص است، از ابتدای آزمایش تا تاریخ ۲۶ دی ماه هدایت‌الکتریکی در تمام عصاره‌گیرها دارای روند کاهشی همراه با نوسان متاثر از بارندگی و آبشویی املاح بود، اما در ادامه آزمایش با کاهش مقادیر باران و افزایش فواصل بین بارندگی‌ها (کاهش وقوع باران‌های متوالی) و همچنین افزایش دمای هوا در ماه‌های فروردین و اردیبهشت ماه، مقدار هدایت الکتریکی در تمام عصاره‌گیرها روند صعودی به خود گرفت. مقایسه درصد افزایش مقدار هدایت الکتریکی در عصاره‌گیرها نشان داد (۸۵، ۵۹، ۵۶ و ۵۰ درصد به‌ترتیب در عصاره‌گیرهای ۱، ۲، ۳و ۴) که فاصله از زهکش و به تبع آن اثر نوع و میزان جریان آب به سمت زهکش (جریان عمودی، افقی و شعاعی) می‌تواند یک عامل تاثیرگذار بر حرکت املاح باشد.

مقایسه مقدار حد آستانه قابل تحمل هدایت الکتریکی گیاه لوبیا محلی (چهارهزار میکروزیمنس بر سانتی‌متر) با مقدار هدایت الکتریکی در عصاره‌ها از خاک در طول آزمایش نشان داد که شوری خاک بر عملکرد گیاه لوبیا تاثیرگذار نیست و زهکشی با تخلیه املاح توانست مانع از تجمع املاح در خاک و افزایش شوری شود.

مقایسه هدایت الکتریکی زه‌آب در ابتدا و انتهای دوره آزمایش نشان داد که هدایت الکتریکی زه‌آب حدود ۶۰ درصد

کاهش داشت و باتوجه به تعادل هدایت الکتریکی در عصاره‌گیرهای ۲ و ۳ (در حدود ۳۵۰ میکروزیمنس بر سانتی‌متر) و مقایسه آن با مقادیر هدایت الکتریکی زه‌آب، مشخص شد که بعد از حدود یک ماه زهکش طراحی شده توانست شوری خاک را به تعادل برساند. Moazeni *et al.* (2016) نیز در آزمایشی به بررسی روند تغییرات هدایت الکتریکی زه‌آب خارج شده از دو عمق زهکش (۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر) در طول رشد گیاه تریتیکاله در اراضی شالیزاری پرداختند که کاهش ۵۳ و ۸ درصدی هدایت‌الکتریکی را در عمق ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر نشان دادند.

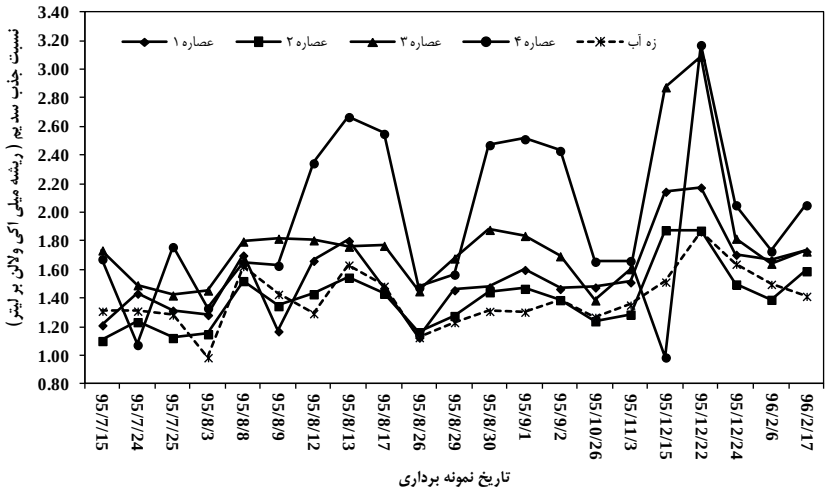


شکل ۶- روند تغییرات هدایت الکتریکی عصاره‌گیرها و زه‌آب در طول دوره آزمایش

مقادیر نسبت جذب سدیم زه‌آب و عصاره‌های خاک در شکل (۷) ارائه شده است. دامنه تغییرات مقادیر نسبت جذب سدیم عصاره‌های خاک ۳/۲-۰/۹ و زه‌آب ۱/۸۵-۰/۹ میلی‌اکی‌والان بر لیتر بود. کم‌تر بودن نسبت جذب سدیم زه‌آب نسبت به عصاره‌های خاک فرآیند جذب عناصر تاثیرگذار بر نسبت جذب سدیم (کلسیم، منیزیم و سدیم) در پروفیل خاک را نشان می‌دهد. مطابق شکل (۷)، نسبت جذب سدیم در نقاط مختلف خاک روند کلی صعودی داشت، هرچند این روند در نقاط مختلف از شدت و مقدار مختلفی برخوردار بود. مقادیر مجموع کلسیم و منیزیم (شکل ۸) در نقاط مختلف نشان می‌دهد که مجموع کلسیم و منیزیم در اواخر دوره آزمایش نوسان و تاثیرگذاری کمتری بر نسبت جذب سدیم داشت. بنابراین با توجه به رقابت سدیم و کلسیم و منیزیم برای جذب سطحی به‌خصوص در خاک‌های دارای رس زیاد که شامل این پژوهش نیز می‌شود، پس از گذشت حدود ۴۵روز وضعیت تعادل یونی در این سه کاتیون برقرار شده و با افزایش جذب سطحی کلسیم و منیزیم حضور کلسیم و منیزیم در عصاره خاک کاهش یافت. حلالیت سدیم و خروج آن به وسیله زهکش در کنار وضعیت اسیدی خاک (شکل ۱۲) زمینه حضور بیش‌تر کلسیم و منیزیم در محلول خاک و امکان جذب سطحی بیشتر کلسیم و منیزیم بر سطح خاک و افزایش SAR را ایجاد نمود. روند کاهش مجموع کلسیم و منیزیم در زه‌آب (شکل ۸) تاییدی بر روند تغییرات کلسیم و منیزیم در خاک و در نتیجه تغییرات نسبت جذب سدیم خاک و زه‌آب است.

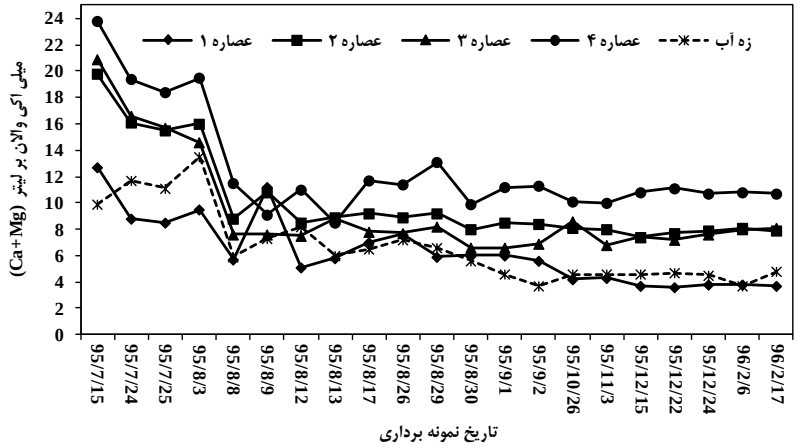
تغییرات غلظت نیترات زه‌آب نسبت به زمان بارش و یا پس از آن بررسی شده‌است (شکل ۹). این شکل نشان می‌دهد که در طول مدت آزمایش غلظت نیترات زه‌آب دارای نوسان بود بدین ترتیب که به علت کاربرد کود نیتروژن در کشت اول (کشت برنج) و ایجاد شرایط هوازی در خاک در کشت گیاه لوبیا، مقدار نیترات تولید شده در فرآیند نیترات‌زایی (تبدیل کود اوره به نیترات)، با وقوع اولین بارش (شکل ۲) در پروفیل خاک حرکت و در انتها به وسیله زهکش خارج شد. در تاریخ ۹۵/۸/۵ کاهش مقدار بارش منجر به کاهش جریان آب به سمت زهکش و کم شدن غلظت نیترات آبشویی شد. این روند به غیر از تاریخ ۹۵/۸/۱۳ به علت بارش شدید در تاریخ ۹۵/۸/۱۲ تا ۹۵/۸/۲۶ ادامه داشت. پس از این مرحله نیز به علت وقوع بارش‌های منقطع و در نتیجه ایجاد شرایط هوازی مناسب به دلیل وجود زهکش، مقدار نیترات خروجی از زهکش افزایش یافت. بیش‌ترین مقدار نیترات خروجی از زهکش مربوط به ابتدای دوره به میزان ۴۶/۹ میلی‌گرم بر لیتر بود که نشان دهنده اهمیت و مدیریت زهکش و عملیات کوددهی در کشت اول و شروع زمان کاشت و بارش در کشت دوم است. با مقایسه مقدار

استاندارد تخلیه نیترات بر اساس معیار دفتر بررسی آلودگی آب و خاک سازگار حفاظت محیط زیست (۴۵ میلی‌گرم بر لیتر) با حداکثر مقدار نیترات خروجی از زهکش، می‌توان نتیجه گرفت که زهکش زیرزمینی در کشت دوم اراضی شالیزاری، توانایی خروج نیترات و خارج از حد مجاز را دارد. با توجه به این نتیجه، مقدار کود مصرفی نیتروژن برای کشت دوم و مدیریت زهکشی کشت اول، می‌تواند نقش مهمی در کنترل این سهم داشته باشند. Sotodehnia *et al.* (2015) نیز در یک خاک شن‌لومی به این نتیجه دست یافتند که غلظت نیترات خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق‌های ۲۵، ۵۰ و ۸۵ سانتی‌متری به ترتیب برابر با ۵۱/۵۴، ۱۰۵/۴۵ و ۲۹۶/۴۲ میلی‌گرم در لیتر بود.

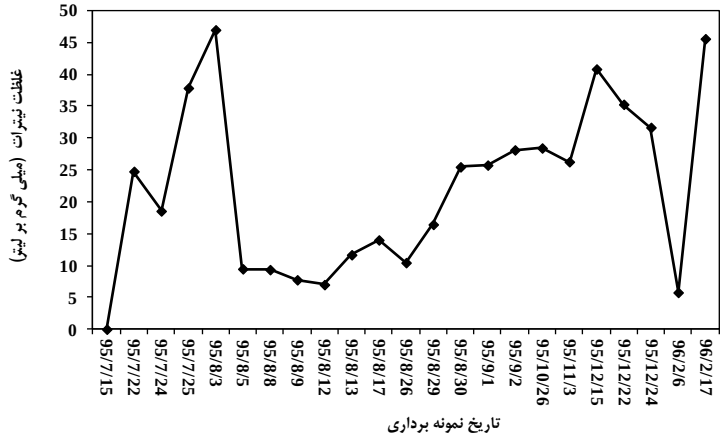


شکل ۷- روند تغییرات SAR در عصاره‌گیرهای مختلف و زه‌آب در طول دوره آزمایش

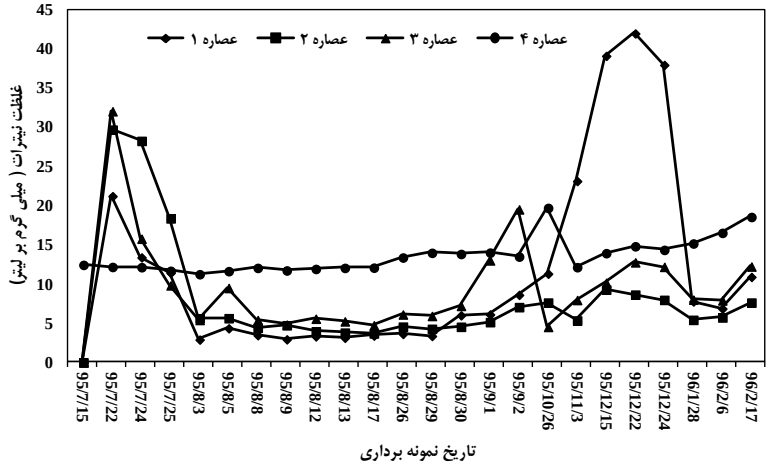
روند تغییرات غلظت نیترات عصاره‌های خاک در طول دوره آزمایش در شکل (۱۰) نشان داده شده‌است. مقادیر نیترات در پروفیل خاک در اوایل دوره آزمایش زیاد و روند آن تا تاریخ ۹۵/۸/۳ کاهشی بود. در اوایل دوره به دلیل اعمال کود نیتروژن و وجود فرم‌های مختلف نیتروژن از کشت اول پس از وقوع اولین بارش‌ها، نیترات در پروفیل خاک به سمت نقاط و لایه‌های پایینی خاک انتقال یافت و باعث ازدیاد نیترات در عصاره خاک شد، اما در تاریخ ۹۵/۸/۳ با وقوع بارش متوالی و قابل ملاحظه، نیترات موجود در خاک شسته و به سمت زهکش هدایت شده که باعث کاهش مقدار نیترات در عصاره خاک شد. بررسی مقادیر نیترات در طول دوره آزمایش نشان داد که غلظت نیترات در دورترین عصاره‌گیر نسبت به زهکش (عصاره‌گیر ۴) بیش‌تر از سایر عصاره‌گیرها بود. دور بودن از زهکش و تاثیرگذاری کم زهکش در انتقال آب از این عصاره‌گیر عامل حرکت کم‌تر آب و در نتیجه نیترات به‌سمت زهکش و در نتیجه بالاتر بودن مقدار نیترات در عصاره خاک این ناحیه بود. افزایش ناگهانی نیترات در نزدیک‌ترین عصاره‌گیر نسبت به زهکش (عصاره‌گیر شماره ۱) نشان می‌دهد که مقدار و طول مدت بارش در توانایی زهکش در خروج زه‌آب و در نتیجه نیترات تاثیرگذار است.



شکل ۸- روند تغییرات کلسیم و منیزیم در عصاره‌گیرهای مختلف و زه‌آب در طول مدت آزمایش



شکل ۹- روند تغییرات غلظت نیترات زه‌آب در طول دوره آزمایش



شکل ۱۰- روند تغییرات غلظت نیترات عصاره‌گیرها در طول دوره آزمایش

مقدار متوسط غلظت نیترات در عصاره‌گیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب ۱۲/۰۱، ۸/۳۲، ۹/۸۲و ۱۳/۵۴ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد. هرچند آبشویی نیترات و حلالیت آن عامل مؤثر در افزایش نیترات در لایه‌های پایین خاک است اما بالا بودن سطح ایستابی و در نتیجه رطوبت بیش‌تر خاک در ناحیه عصاره‌گیر ۲ با توجه به مقادیر سطح ایستابی (شکل ۳) منجر به ایجاد شرایط نیترات‌زدایی و در نتیجه کاهش نیترات در این لایه از خاک شد. بنابراین قابلیت زهکش در کنترل سطح ایستابی در نقاط مختلف خاک بر میزان دسترسی به اکسیژن و در نتیجه چرخه نیتروژن در نقاط مختلف خاک تاثیرگذار است. جدول (۴) نتیجه آزمون توکی در معنی‌داری مقدار نیترات نقاط مختلف خاک را نشان می‌دهد. براساس نتایج این آزمون، نیترات عصاره‌گیرهای ۲ و۴ تفاوت معنی‌داری از هم دارند که تاییدی بر تاثیر فاصله از زهکش و رطوبت خاک است.

تغییرات غلظت ارتوفسفات بر حسب فسفر زه‌آب و خاک در طول مدت آزمایش در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. غلظت ارتوفسفات در طول دوره آزمایش به جز در چند مرحله به دلیل افزایش میزان بارش روند کاهشی داشت. کود فسفر برای غالب گیاهان به صورت جامد استفاده می‌شود و به دلیل پیوند شیمیایی قوی با ذرات رس و تحت تأثیر pH محلول خاک، فرآیند انتقال و جذب آن به کندی صورت می‌گیرد. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که بالاترین مقدار غلظت ارتوفسفات زه‌آب، یک ماه پس از کاشت بذر و اعمال کود بود که با توجه به زمان طی شده و همچنین بارش فراوان پس از دو روز متوالی، بارش باعث حل شدن و حرکت فسفر به سمت زهکش شد. با توجه به استاندارد تخلیه مجاز فسفات بر حسب فسفر در قانون برنامه سوم توسعه (یک میلی‌گرم بر لیتر) و بیش‌ترین غلظت، فسفر خروجی به اندازه ۰/۲۱ میلی‌گرم بر لیتر بود که تخلیه زه‌آب برای محیط زیست دارای آثار منفی نخواهد بود.

تغییرات غلظت ارتوفسفات بر حسب فسفر در عصاره‌گیرهای۱ تا ۴ نسبت به زمان در شکل (۱۱) نشان داده‌شده‌است. به‌طور متوسط در عصاره‌گیرهای ۱، ۲، ۳ و ۴ با دور شدن نقاط به زهکش مقادیر میانگین غلظت فسفر خاک ۰/۰۲۴، ۰/۰۲۲، ۰/۰۳۳ و ۰/۰۳۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌دست آمد.

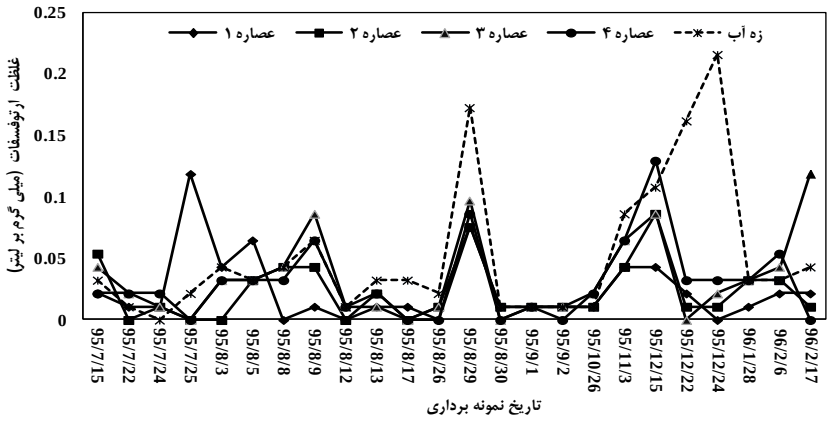
مقایسه معنی‌داری (جدول ۴) مقادیر ارتوفسفات در عصاره‌گیرهای مختلف نشان داد که اختلاف میانگین‌ها در نقاط مختلف خاک معنی‌دار نبود، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که فاصله و عمق نقاط از زهکش تاثیری بر مقدار غلظت ارتوفسفات نداشت.

جدول ۴- تحلیل آماری آزمون توکی برای مقایسه میانگین غلظت نیترات و ارتوفسفات در عصاره‌گیرها

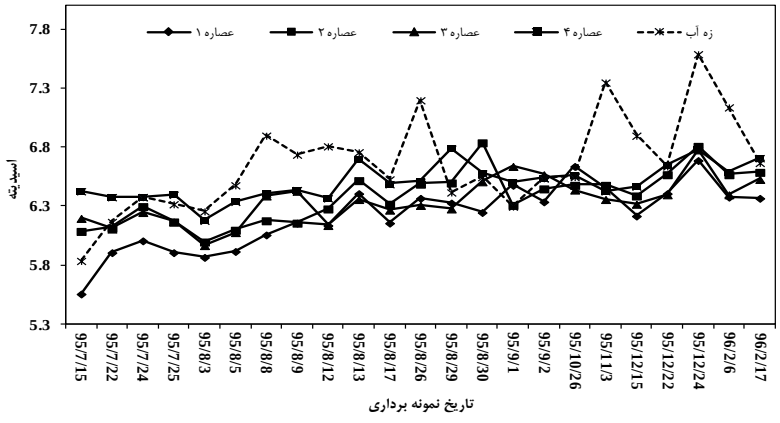
ارتوفسفات	نیترات	میانگین عصاره	میانگین عصاره
شاخص معنی‌داری (Sig.)			
۰/۹۹۷	۰/۳۸۷	۲	۱
۰/۶۸۷	۰/۷۷۹	۳	
۰/۹۰۳	*۰/۹۰۳	۴	
۰/۵۵۵	۰/۹۱۶	۳	۲
۰/۸۰۷	۰/۰۶۵	۴	
۰/۹۷۵	۰/۳۶۷	۴	۳

*: معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد

روند تغییرات اسیدیته زه‌آب و خاک نسبت به زمان در شکل (۱۲) نشان داده شده‌است. روند کلی تغییرات اسیدیته صعودی بود و زهکشی باعث تمایل اسیدیته خاک به سمت خنثی شد. در تاریخ‌های ۹۵/۸/۱۷، ۹۵/۱۱/۳ و ۹۵/۱۲/۲۴ به‌دلیل بارندگی‌های زیادی که در روزهای قبل آن تاریخ باریده، رطوبت خاک به مقدار زیادی افزایش یافت که باعث کاهش اکسیژن محلول در خاک و در نهایت افزایش pH شد. روند تغییرات اسیدیته خاک در عصاره‌گیرهای مورد بررسی به طورکلی صعودی بود و همانند زه‌آب، زهکشی باعث تمایل اسیدیته خاک به سمت خنثی شد. میانگین اسیدیته عصاره‌گیرهای شماره ۱، ۲، ۳، ۴ به‌ترتیب ۶/۲۱، ۶/۳۷، ۶/۳۴ و ۶/۵۰ به‌دست آمد که در عصاره ۴ به دلیل فاصله از زهکش و خارج نشدن آب موجود در آن قسمت پروفیل خاک و وجود اکسیژن کم‌تر در آن قسمت اسیدیته بیش‌تری نسبت به سایر عصاره‌گیرها مشاهده شد. Snackin *et al.*, (2001) نیز گزارش کردند که با افزایش مقدار رطوبت خاک، مقدار اسیدیته خاک افزایش می‌یابد و علت آن رقیق شدن محیط محلول خاک است که در نتیجه پدیده هیدرولیز نمک‌های خنثی رخ داده و منجر به افزایش مقدار اسیدیته خاک می‌شود. Unger *et al.*, (2009) نیز اعلام کردند که شرایط اشباع سبب کاهش پتانسیل اکسایش و اکسیژن محلول در خاک می‌شود و با مدت زمان اشباع شدن رابطه مستقیمی دارد.



شکل ۱۱- روند تغییرات غلظت ارتوفسفات بر حسب فسفر در زه‌آب و خاک در طول دوره آزمایش



شکل ۱۲- روند تغییرات اسیدیته زه‌آب و خاک در طول دوره آزمایش

نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش حاضر نشان داد که غلظت نیترات زه‌آب در برخی از زمان‌های آزمایش از حد مجاز تخلیه به آب‌های سطحی فراتر بود، بنابراین برآورد نیاز کودی نیتروژن برای کشت لوبیای محلی، توجه به نیتروژن باقیمانده در خاک از کشت اول (برنج) و انتخاب شیوه و مقدار مناسب کوددهی در طول دوره رشد دارای اهمیت است. معنی‌داری تفاوت غلظت نیترات مشاهده‌شده در پروفیل خاک نشان‌داد که طراحی درست زهکش (عمق و فاصله زهکش) تاثیر بسزایی در انتقال نیترات در پروفیل خاک و خروج آن از زهکش می‌تواند داشته‌باشد. نتایج نشان داد زهکش عامل تهدیدکننده‌ای برای تخلیه ارتوفسفات بر حسب فسفر برای تخلیه زه‌آب به محیط زیست نبود. مقایسه هدایت الکتریکی زه‌آب در ابتدا و انتهای دوره آزمایش نشان داد که هدایت الکتریکی زه‌آب حدود ۶۰ درصد کاهش داشت. پارامترهای SAR و pH نیز در خاک و در نتیجه زه‌آب افزایش یافتند. نتایج نشان داد که حجم زه‌آب خروجی از مقدار و توالی باران تاثیر می‌پذیرد. هرچند زهکش مورد بررسی (شبیه‌سازی فاصله زهکش ۵ متر) توانست سطح ایستابی را در عمق مناسب برای رشد گیاه لوبیا فراهم کند، اما زیاد بودن بار آبی در پیزومتر نزدیک زهکش نشان‌دهنده عدم تناسب توان زهکش در تخلیه زه‌آب در بارش‌های شدید و پیوسته بود. انتخاب عمق بیشتر برای زهکش به منظور حصول اطمنیان از عملکرد بهتر زهکش در تخلیه زه‌آب در مشخصات خاک این پژوهش و بافت خاک‌های دارای رس بیشتر توصیه می‌شود. برای تعمیم نتایج این پژوهش انجام آزمایش‌های صحرایی در فواصل و عمق‌های مختلف زهکش توصیه می‌شود.

REFERENCES

Abdel Dayem, S., Hoevenaars, J., Mollinga, P., Scheumann, W., Slootweg, R. and Van Steenbergen, F. (2005). Agriculture drainage towards an integrated approach. *Journal of Irrigation and Drainage System*, 19(2), 71-87

Alizadeh, M., Afrasiab, P., Yazdani, M. R., liaghat, A. M. and Delbari, M. (2016). The effect of depth and space subsurface drainage on paddy field drainage intensity (Case study: Fields of Rice Research Institute of Iran). *Journal of Water and Soil Conservation*, 23(4), 219-233. (In Farsi)

Aslani, F., Nazemi, A.H., Ashrafsadrodini, S. A., Fakherifard, A. and Ghorbani, M. A. (2010). Depth and space estimation based on quality effluent suitable for subsurface drainage. *Journal Research Soil Water Iran*, 41(2), 139-141. (In Farsi)

Bagheri A., Zand E., and Parsa M. (1997). Beans, the bottlenecks and strategies. *Jahad of Mashhad University Press*, 94 pages. (In Farsi).

Bahceci, I., Tari, A. F., Agar, A. I. and Sonmez, B. (2006). Water and salt balance studuest using saltmod, to improve subsurface drainage design in the Konya-Cumra Plain, Turky. *Agricultural Water Management*, 85(3), 261-271.

Balkaya, A. and Odabas M. S. (2002). Determination of the seed characteristics in some significant snap bean varieties grown in Samsun, Turkey, Pak. *Journal of Biological Science*, 5(1), 382-387.

Christen, E. and Skehan, D. (2001). Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 127(3), 148-155.

Darzi-Naftchali, A., Mirlatifi, S.M., Shahnazari, A., Ejlali, F. and Mahdian, M.H. (2013). Effect of subsurface drainage on water balance and water table in poorly drained paddy fields. *Agricultural Water Management*, 130, 61-68. (in Farsi)

Dori, H. R., Shahbazi, V. M. and Saeedi, R. A. (2013). Identification and Distribution of Pachloobi species in Guilan province. *The 5th Iranian Bean Conference*. March 7, 715-713. (In Farsi)

Drainage Department, Iranian National Irrigation and Drainage Committee, (2002). Attitudes to problems and problems of underground drainage studies and implementation. *Iranian National Irrigation and Drainage Committee press*, No. 59. (In Farsi)

Manjunatha, M. V., Oosterbaan, R. J., Gupta, S. K., Rajkumar, H. and Jansen, H. (2004). Performance of subsurface drains for reclaiming waterlogged saline lands under rolling topography in Tungabhadra irrigation project in India. *Journal of Agricultural Water Management*, 69(1), 69-82.

Mansoori Sarinjaneh, F. (2005). Investigating the design parameters of drainage systems in the irrigation and drainage project of the sugar cane development center. Master's thesis for irrigation and drainage. Irrigation and rehabilitation group. *University of Tehran water and soil Engineering*, 111 pages. (In Farsi)

Mathew, E. K., Panda, R. K. and Nair, M. (2001). Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Journal of Agriculture Water Management*, 47(3), 191-209.

Moazeni, S. M. R., Navabian, M., and Esmaeili Varaki, M. (2016). Evaluate of subsurface drainage performance at second crop of paddy field (Case study: Triticale in physical model scale). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47(2), 397-405. (In Farsi)

Momen Nejad, Z. (2017). Comparing the performance of DRAINMOD and SWAP models to simulate controlled subsurface drainge in a physical model

scale in paddy field. *Master Science Thesis in Irrigation and Drainage*, University of Guilan. (In Farsi)

Nangia, V., Gowda, P. H., Mulla, D. J. and Sands, G. R. (2010). Modeling impacts of tile drain spacing and depth on nitrate-nitrogen losses, *Vadose Zone Journal*, 1, 61-72.

Naseri, A. and Arvahi, A. (2009). Underground drainage systems in the design of new foundations and their impact on local procedures. *Proceeding Technical Workshop Drainage and Environmental*, 67-82.

Nazari, B., Liaghat, A., Parsinezhad, M. and Naseri, A. (2008). Optimization the installation of subsurface drainage depth with economic and environmental considerations. *Technical Workshop and Drainage and Environment*, 107-123.

Ranjkesh ziabari, D. Navabian, M. Bigloyi, M. H. and Esmaili varaki, M. (2015). Investigating the Effect of Controlled Drainage Management on Rice Cod Shear Coverage on Nitrate and Nitrate Wastewater in Conditions Similar to paddy lands. *Iranian Jurnal of Soil and Water Research*, 46(2), 273-282. (In Farsi)

Razi, F., Sotoodehnia, A., Daneshkar Arasteh, P. and Akram, M. (2012). A Laboratoru Test on the Effect of Drain Installation Depth on Drain Water Salinity (from a Clay-Loam soil profile). *Journal of Water Research*, 43(3), 281-288.

Romero-Arenas O., Damian Huato M.A., Rivera Tapia J.A., Baez Simon A., Huerta Lara M. and Cabrera Huerta E. (2013). The Nutritional value of Beans (Phaseoluse vulgaris L.,) and its importance for feeding of rural communities in Puebla-Mexico. *International Research Journal of Biological Sciences*. 2(8), 59-65.

Sotodehnia, A., Noroziasil, E. and Daneshkar Arasteh P. (2015). A Laboratory Test on the Effect of Subsurface Drain Installation Depth on Nitrate Leaching from a Loamy Sand Soil. *Water Research in Agriculture*, 28(3), 625-634.

Smedma, L. K. (2007). Revising currently applied drain depth for water logging and salinity control of irrigated land in Semi arid zone. *Journl of Irrigation and Drainage*. 56(4), 379-387.

Snackin V. V., Prisyazhanaya A. A., and Kovasc-Lang E. (2001). Soil liquid phase composition. *Elsevier Science B. V., Amsterdam, the Netherlands*. 88 pages.

Standard Methods for the Examinition of Water and Wastwater. (2017). American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 23rd Edition, 1504 pages.

Unger, I. M., Motavalli, P. P.,and Muzika, R. M. (2009). Changes in soil chemical properties with flooding: A field laboratory approach. *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, 131(1-2), 105-110.