نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1859-1848

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1848-1859

تأثیر سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی بر بهبود حرکت آب در خاک اراضی شالیزاری

قاسم آقاجانی مازندرانی[1*]

تاریخ دریافت: 1394/04/13
تاریخ پذیرش: 1395/03/30

چکیده

برای بهره‌برداری بهتر از منابع آب و خاک در اراضی شالیزاری، افزایش تولید و بالا رفتن سطح درآمد کشاورزان، احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی کمک مؤثری به شمار می‌آید. در این تحقیق اثر سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با اعماق و فواصل مختلف و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی بر بهبود حرکت آب در خاک و تخلیه زه‌آب از اراضی شالیزاری، امکان کشت دوم و افزایش محصول در قالب مزرعه آزمایشی در اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بررسی شد. عمق سطح ایستابی و دبی زهکش‌ها به صورت روزانه و عملکرد گیاه کلزا به عنوان کشت دوم، طی چهار سال بعد از نصب سیستم‌های زهکشی (از 1390 تا 1393) پایش شد. نتایج نشان داد به دلیل بافت سنگین خاک (عمدتاً سیلتی‌رس) اراضی شالیزاری و وجود لایه نیمه نفوذپذیر در کفه شخم (60-30 سانتی‌متر)، عملکرد زهکش‌های کم‌عمق در سال‌های اول بهتر بود. به مرور زمان و با انجام زهکشی، شرایط برای حرکت آب در خاک بهتر شده و عملکرد سیستم‌های زهکشی عمیق نیز بهبود یافت و در سال چهارم، سیستم‌های زهکشی عمیق عملکرد بهتری در تخلیه زه‌آب نسبت به سیستم‌های زهکشی کم‌عمق داشتند (با حداکثر عمق سطح ایستابی 69 سانتی‌متر در مقابل 43 سانتی‌متر). همچنین عملکرد محصول کلزا به عنوان کشت دوم (همراه با بهبود شرایط تهویه خاک و عملکرد سیستم‌های زهکشی)، از سال اول تا سال چهارم به میزان 2191 کیلوگرم در هکتار (318 درصد) افزایش یافت که نشان از رابطه مستقیم بین بهبود عملکرد سیستم و افزایش میزان دانه محصول دارد.

واژه‌های کلیدی: دبی زهکش‌ها، زهکشی شالیزاری، سطح ایستابی، عملکرد کلزا، عمق زهکش

مقدمه

مساحت زیر کشت برنج کشور، حدود 460 هزار هکتار است[1](8) که بیش از 75 درصد آن در دو استان شمالی مازندران و گیلان (6) واقع شده است. در سال‌های اخیر، برای بهره‌برداری بهتر از منابع آب و خاک در هزاران هکتار از اراضی شالیزاری، طرح‌های تجهیز و نوسازی انجام شد. با وجود هزینه‌های کلان در این بخش، همچنان کاستی‌ها و مشکلات قبل از تجهیز و نوسازی پا برجاست و به‌دلیل عدم قابلیت زهکش‌های سطحی در تخلیه سریع آب و یا حتی نبود آن، اهدافی چون بهبود بهره‌وری، افزایش محصول برنج، جلوگیری از ماندابی و امکان کشت دوم فراهم نشده است. با توجه به لزوم استفاده از حداکثر پتانسیل اراضی شالیزاری و بهبود بهره‌وری از این اراضی به دلیل افزایش تقاضا، می‌توان با احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در این اراضی، شرایط مناسب برای کشت محصولاتی غیر از برنج را در فصول مرطوب فراهم نمود.

هدف اصلی از احداث زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری، بهبود شرایط تهویه برای رشد گیاه در مناطق فاریاب (14)، جلوگیری از غرقابی شدن (2)، افزایش محصول (16)، افزایش کاربری زمین و استفاده چند منظوره از آن است. اهداف ثانویه زهکشی، بهبود قابلیت کار ماشین آلات (14)، خشک کردن زمین در میان فصل با هدف افزایش محصول برنج (13)، کاهش هزینه‌های کاربری زمین و بهبود وضعیت اجتماعی است. در مجموع، همه‌ی این اثرات می‌توانند باعث بهبود وضعیت اقتصادی و فواید اجتماعی برای کشاورزان شوند (20).

در کشورهای مختلفی، احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری سبب افزایش محصول و بهبود شرایط کار روی زمین شده است. در اواخر دهه 1980 میلادی، دولت ژاپن استفاده از سیستم‌های زهکشی زیرزمینی را برای بهره‌برداری بهتر اراضی شالیزاری توصیه نموده است. تا سال 1992، بیش از نیم میلیون هکتار از اراضی شالیزاری به انواع مختلف سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در

1- مربی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*- نویسنده مسئول: (Email: q-aqajani@yahoo.com
DOI: 10.22067/jsw.v30i6.46552

Archive of SID
www.SID.ir

پروژه‌های تجهیز و نوسازی، مجهز شدند (14). در کره جنوبی، با زهکشی اراضی شالیزاری، کاربری اراضی به خاطر دو کشته شدن از طریق بهبود شرایط تهویه خاک، از 129 تا 138 درصد افزایش یافت. همچنین میزان تولید نیز به‌طور متوسط از 3967 تا 4717 کیلوگرم در هکتار افزایش یافت (20). در تحقیقی در کشور هند (21) به دلیل اجرای سیستم زهکشی در مزرعه، عملکرد برنج 69 درصد، پنبه 64 درصد، نیشکر 54 درصد و گندم 136 درصد افزایش یافت. همچنین در اراضی شالیزاری شمال ایران، احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی موجب افزایش عملکرد برنج شد (4).

از طرف دیگر، فاصله و عمق زهکش به عنوان مهم‌ترین پارامترهای طراحی در نصب سیستم‌های زهکشی، اثر مستقیم روی میزان آب ورودی به زهکش دارند. در تحقیقی در جنوب شرقی استرالیا، مقدار دبی زه‌آب زهکش‌ها را تابعی از عمق و فاصله زهکش بیان نمودند (25). اثر زهکش‌های عمیق با عمق 1/8 متر و فاصله 20 متر و زهکش‌های کم‌عمق با عمق 0/7 متر و فاصله 3/6 متر بر میزان زه‌آب در اراضی فاریاب جنوبی استرالیا ارزیابی شدند. نتایج نشان داد با کاهش عمق و فاصله زهکش‌ها، مقدار زه‌آب کاهش یافت (3). همچنین سیستم‌های زهکشی زیرزمینی، باعث بهبود حرکت آب در خاک می‌شوند و با گذشت زمان، سرعت حرکت آب در خاک افزایش می‌یابد و تخلیه سریع‌تر انجام می‌شود. در تحقیقی در اراضی شالیزاری دارای زهکش‌های زیرزمینی با فواصل 10 تا 35 متر و نصب شده در عمق 1/25 متری، افزایش هدایت هیدرولیکی از 0/144 متر بر روز قبل از نصب زهکش‌ها به 1/5 متر بر روز بعد از حدود 10 سال زهکشی گزارش شد (19). یزدانی (27) فواصل مختلف زهکش‌های سطحی (2، 4، 6، 8 و 10 متر) را در دو حالت بود یا نبود جویچه‌های عرضی (جویچه‌های عمود بر زهکش‌های سطحی) در اراضی شالیزاری گیلان آزمایش کرد. نتایج نشان داد که بهترین عملکرد مربوط به تیمار با فاصله 4 متر با داشتن جویچه‌های عرضی بود. هر چند احداث زهکش‌های سطحی باعث بهبود شرایط مزرعه شد اما با توجه به ارزش زمین و هدر رفت آن در زهکشی سطحی، استفاده از سیستم‌های زهکشی سطحی زیاد توسعه نمی‌شود.

با توجه به اثرات مثبت زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری از یک سو و ارزش زمین از سویی دیگر و اهمیت کاهش هزینه‌های نصب با کاهش عمق و افزایش فاصله زهکش، بررسی اثر سیستم‌های مختلف زهکشی با فواصل و عمق‌های مختلف بر بهبود خاک شالیزار و افزایش محصول موضوع مهمی است که تاکنون در اراضی شالیزاری ایران صورت نگرفته است. در راستای بهره‌برداری بهتر از اراضی شالیزاری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به عنوان یک مرکز پیشرو با نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی با فواصل و اعماق متفاوت در 4/5 هکتار از اراضی شالیزاری، اقدام به بررسی اثر زهکشی زیرزمینی بر بهره‌وری آب و خاک و افزایش عملکرد نموده است. با توجه به وضعیت خاص خاک‌های اراضی شالیزاری مانند وجود لایه سخت رسی در زیر لایه شخم، تعیین تأثیر عمق و فواصل مختلف زهکش‌های زیرزمینی بر عملکرد سیستم و محصول بسیار مهم است. هدف از این تحقیق بررسی اثر زهکشی زیرزمینی با اعماق و فواصل متفاوت بر تغییرات دبی و افت سطح ایستابی بوده تا بتوان بهبود شرایط حرکت آب در خاک را تجزیه و تحلیل نمود. همچنین برای بررسی اثر سیستم‌های مختلف زهکشی بر افزایش بهره‌وری محصول، عملکرد گیاه کلزا به‌عنوان کشت دوم در این تیمارها مورد مقایسه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در پایلوت زهکشی اراضی شالیزاری تجهیز و نوسازی شده دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به مساحت 4/5 هکتار (شکل 1)، واقع در کیلومتر 9 جاده ساری—دریا، طی چهار سال در سال‌های زراعی 1390 تا 1393 انجام شد. عرض و طول جغرافیایی منطقه به ترتیب 36/39 درجه شمالی و 53/04 درجه شرقی و ارتفاع آن از سطح دریا 15- متر است. منطقه دارای اقلیم معتدل مرطوب با زمستان‌های با بارندگی زیاد بوده و متوسط بارندگی سالانه 616 میلی‌متر و میانگین دمای سالانه 17/3 درجه سانتی‌گراد است.

برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در اعماق مختلف، چاهک‌های مشاهداتی با قطر 8 سانتی‌متر در عمق‌های 30، 60، 90، 120، 150، 200 و 300 سانتی‌متری به فاصله یک متر از یکدیگر حفر شدند. هدایت هیدرولیکی اشباع در این چاهک‌ها به روش ارنست (فرمول‌های 1 و 2) تعیین شد. برای قرائت تراز سطح آب داخل چاهک‌ها از دستگاه عمق‌یاب الکتریکی استفاده شد (9 و 22). کلیه اندازه‌گیری‌ها در شرایط اشباع خاک انجام شد. برای تعیین بافت خاک از لایه‌های مختلف این چاهک‌ها نمونه‌برداری شد. این اندازه‌گیری‌ها قبل از نصب سیستم زهکشی انجام شد. جدول (1) بافت خاک و مقادیر هدایت هیدرولیکی در لایه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

$$K = \frac{4000\, r^2}{(H+20r)\times(2-\frac{y}{y})} \times \left(\frac{\Delta y}{\Delta t}\right) \quad (1)$$

$$K_2 = \frac{K(K_1+K_2)-K_1K_1}{K_2} \quad (2)$$

که در آن، K هدایت هیدرولیکی اشباع (متر در روز)، r شعاع چاهک (سانتی‌متر)، H عمق چاهک زیر سطح ایستابی (سانتی‌متر)، y متوسط عمق آب در چاهک در مدت آزمایش (سانتی‌متر)، Δt فاصله زمانی، Δy میزان اختلاف سطح آب در چاهک در مدت آزمایش (سانتی‌متر)، K_1 و K_2 هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به‌ترتیب در لایه‌های بالایی و پایینی (متر در روز)، H_1 و H_2 اعماق چاهک به‌ترتیب در لایه‌های بالایی و پایینی (سانتی‌متر) می‌باشند.

Archive of SID

www.SID.ir

شکل 1- موقعیت پایلوت زهکشی اراضی شالیزاری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

Figure 1- The region of drainage pilot in Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University paddy fields

جدول 1- بافت خاک و هدایت هیدرولیکی آن در لایه‌های مختلف

Table 1- Textural class and saturated hydraulic conductivity (Ks) of the soil of the experimental site

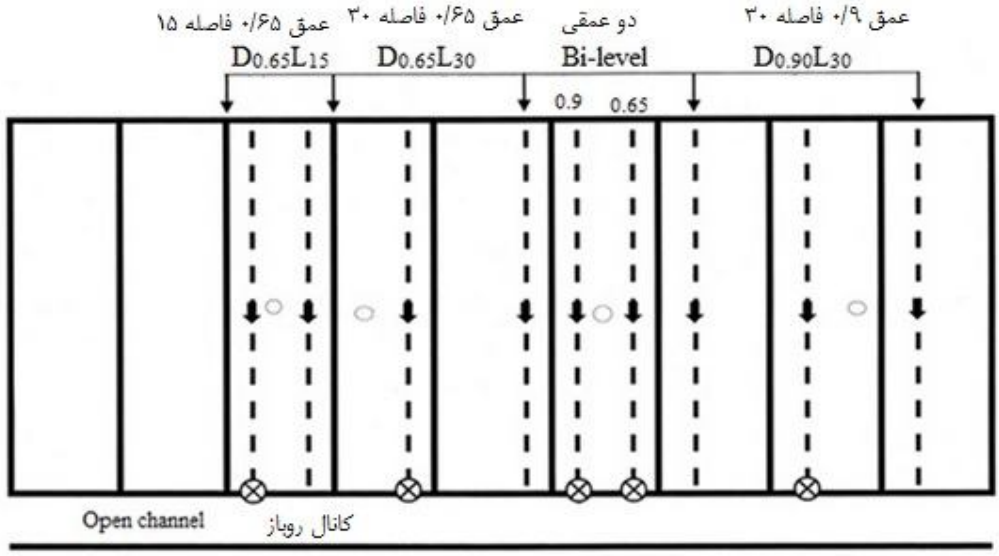
عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	هدایت هیدرولیکی Saturated hydraulic conductivity (cm/day)
0-30	سیلتی رس Silty clay	25.6
30-60	سیلتی رس Silty clay	8.1
60-90	سیلتی رس Silty clay	20.7
90-120	سیلتی رس Silty clay	16.3
120-150	سیلتی رس Silty clay	10.9
150-200	رس Clay	8.3
200-300	رس Clay	2.5

اهداف اصلی از نصب زهکش‌های زیرزمینی در این اراضی، برطرف کردن شرایط ماندابی برای برقراری امکان کشت دوم و بررسی عملکرد سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری بود. بعد از مطالعات اولیه طراحی، فاصله زهکش‌ها به وسیله روابط هوخهات و کرکهام با در نظر گرفتن ضریب زهکشی 2/2 میلی‌متر در روز (1)، 22/5 متر برآورد شد که با توجه به ساختار کرت‌های شالیزاری یکپارچه‌سازی شده (که عموما ابعاد 30 در 100 متر مربع دارند)، زهکش‌ها با فاصله‌های 15 و 30 متر و اعماق 0/65 و 0/9 متر در نظر گرفته شدند (5). در مزرعه مورد مطالعه، سه نوع سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی با پوشش معدنی متشکل از عمق 0/9 متر و فاصله 30 متر ($D_{0.9}L_{30}$)، عمق 0/65 متر و فاصله 15 متر ($D_{0.65}L_{15}$) و عمق 0/65 متر و فاصله 30 متر ($D_{0.65}L_{30}$) و یک سیستم زهکشی زیرزمینی دو عمقی (Bi-level) با پوشش معدنی متشکل از چهار خط زهکش به فاصله 15 متر و با اعماق 0/65 و 0/9

Archive of SID

www.SID.ir

متر به‌صورت یک در میان نصب شدند. طول کلیه خطوط زهکش 100 متر و قطر لوله‌های آن 100 میلی‌متر بود. پوشش معدنی به ضخامت 10 سانتی‌متر در زیر و کنار لوله زهکش و به ضخامت 30 سانتی‌متر روی آن ریخته شد. جزئیات بیشتر در مورد پوشش معدنی و نحوه انتخاب آن، در مقاله جعفری و همکاران (11) و مشخصات سیستم زهکشی، در مقاله درزی و همکاران (5) ارایه شده است. آرایش سیستم‌های مختلف زهکشی در شکل (2) ارایه شد. زه‌آب کلیه خطوط زهکش به درون یک کانال روباز به عمق 1/2 متر تخلیه می‌شد.



شکل 2- آرایش سیستم‌های زهکشی در پایلوت مذکور (⊠ محل اندازه‌گیری دبی زهکش و O موقعیت حفر چاهک مشاهده‌ای)

Figure 2- Layout of the subsurface drainage systems and location of measuring instruments

نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در مزرعه آزمایشی مذکور در سال 1390 انجام شد. هر ساله بعد از برداشت برنج (اواخر مرداد یا اوایل شهریور)، اقدام به کشت کلزا رقم Hyola-401 شد. بدین ترتیب که مزرعه تا عمق 20 سانتی‌متر شخم زده شد و بذر کلزا به مقدار 7 کیلوگرم در هکتار به صورت دستی بذرپاشی شد، به جز سال اول که مقدار 6 کیلوگرم در هکتار بذر کلزا استفاده شد. تاریخ‌های کاشت، برداشت و کوددهی در جدول (2) آمده است. در سال سوم، به دلیل حجم بالای بارندگی‌ها و بارش مستمر در اوایل مهر، امکان کشت کلزا فراهم نشد. در طول فصل کشت کلزا، زهکش‌ها همواره باز بوده تا آب جمع شده بر اثر بارندگی در خاک، به صورت آزادانه (ثقلی) تخلیه شود. در هر مرحله کوددهی، کود اوره به مقدار 35 کیلوگرم در هکتار به‌کار برده شد.

پس از تجهیز چاهک‌ها در نقطه میانی فاصله دو زهکش زیرزمینی و امکان قرائت سطح ایستابی، نوسانات سطح ایستابی و دبی آب خروجی از زهکش‌های مزرعه در فصل کشت کلزا به صورت روزانه اندازه‌گیری شد (12). برای قرائت سطح آب درون چاهک‌ها از متر دستی با دقت 1 میلی‌متر و اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها از روش حجمی با ظرف مدرج و زمان‌سنج استفاده شد (22). اندازه‌گیری‌ها بعد از هر بارندگی شروع می‌شد و تا تخلیه کامل آب از زمین ادامه می‌یافت. میانگین تجمعی دبی زهکش‌ها در هر سال به طور جداگانه محاسبه شد. همچنین هر ساله با برداشت کلزا، میزان محصول در سطح تحت زهکشی هر تیمار، به صورت جداگانه توزین شد.

نتایج و بحث

شکل (3) میانگین دبی تیمارهای مختلف زهکشی را طی چهار سال اجرای تحقیق نشان می‌دهد. در اولین سال زهکشی، میانگین دبی زهکش‌های کم عمق ($D_{0.65}L_{15}$ و Bi-level-S) بیشتر از زهکش‌های عمیق ($D_{0.9}L_{30}$ و Bi-level-D) بود. درزی و همکاران (9) در مقایسه ارتفاع زه‌آب خروجی (حجم آب خروجی در واحد سطح زهکشی شونده) از سیستم‌های مختلف زهکشی زیرزمینی در دوره‌های زهکشی میان فصل و پایان فصل برنج در همین مزرعه دریافتند که برای یک فاصله ثابت بین زهکش‌ها، با افزایش عمق زهکش، عمق زه‌آب خروجی کاهش یافت، که با نتایج این تحقیق در سال اول مطابقت دارد.

Archive

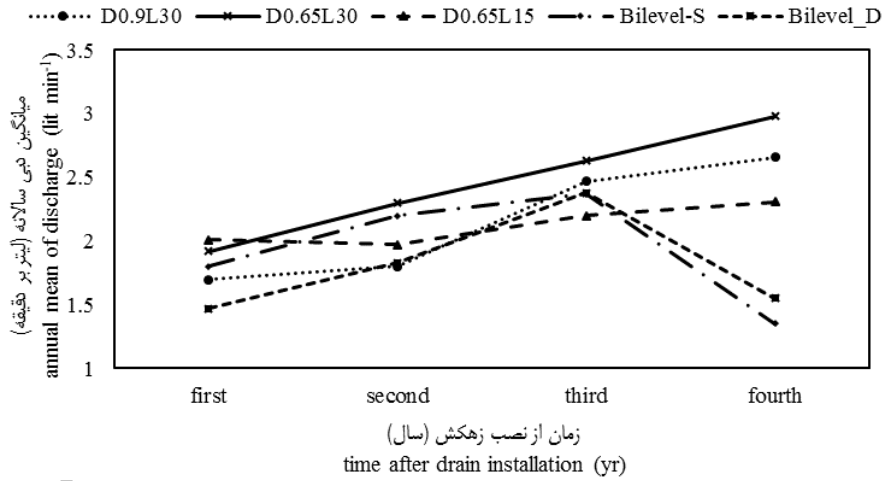
www.SID.ir

جدول 2- مراحل مختلف کشت کلزا در مزرعه آزمایشی

Table 2- Summary of Agricultural Activities and Fertilization during the Study Period

سال Year	تاریخ کشت Time of cultivation	تاریخ کوددهی Time of fertilization	کود اوره Fertilization (kg ha^{-1})	تاریخ برداشت Time of harvest
اول First	7 آذر 1390 28 November 2011	17 اسفند 1390 و 9 فروردین 1391 7 and 28 March 2012	35 + 35	16 اردیبهشت 1391 5 May 2012
دوم Second	13 مهر 1391 4 October 2012	17 اسفند 1391 7 March 2013	35	25 اردیبهشت 1392 15 May 2013
چهارم Fourth	19 مهر 1393 10 October 2014	7 آبان و 25 بهمن 1393 30 October 2014 and 14 February 2015	35 + 35	28 اردیبهشت 1394 10 May 2015

اما با گذشت زمان و در سال چهارم، میانگین دبی زهکش‌های عمیق افزایش یافت و بیشتر از زهکش‌های کم‌عمق شد. علاوه بر فاصله و عمق زهکش، دیگر فاکتورهای مؤثر بر شدت زهکشی، هدایت هیدرولیکی خاک، عمق لایه نفوذناپذیر و شعاع مؤثر زهکشی هستند (24). به‌دلیل سنگین بودن خاک شالیزار، دبی زهکش‌های عمیق در اوایل کم بوده است و با انجام زهکشی طی چهار سال، ساختمان خاک بهبود یافته و آب از مسیر جریان‌های ترجیحی برای رسیدن به زهکش‌ها عبور کرده است (18). همچنین، میانگین دبی سیستم‌های زهکشی به مرور زمان افزایش یافته و در سال چهارم و سوم بهتر از سال اول و دوم بوده است. تغییر هدایت هیدرولیکی نسبت به زمان در خاک‌های دارای رس زیاد یا مواد آلی، به خاطر تغییر در تخلخل و ساختمان خاک (17)، ممکن است از دلایل اصلی این بهبود شرایط باشد.



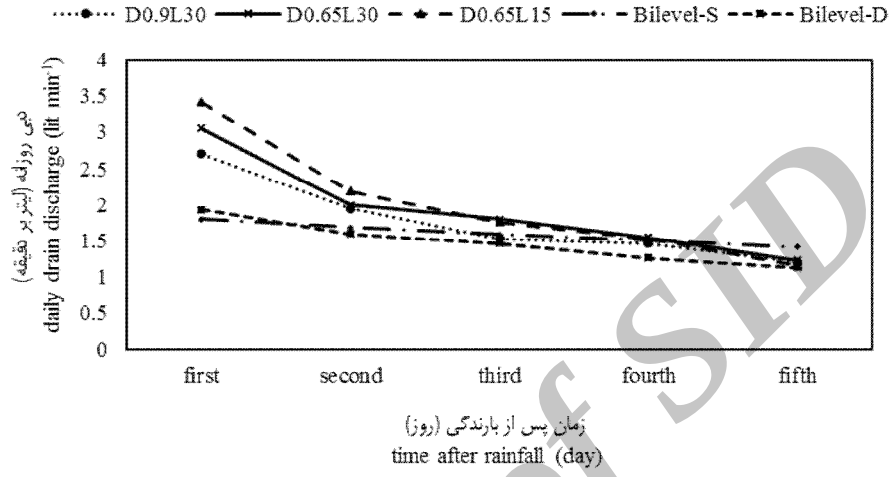
شکل 3- میانگین دبی تیمارهای زهکشی طی چهار سال بعد از نصب زهکش‌ها

Figure 3- Drain discharge mean for 4 years after drain installation

شکل‌های 4، 5، 6 و 7 دبی‌های روزانه هر یک از سیستم‌های زهکشی را طی پنج روز متوالی پس از بارندگی 12 تا 15 میلی‌متر در سال‌های مختلف نشان می‌دهند. در سال اول زهکشی، زهکش‌های کم‌عمق ($D_{0.65}L_{15}$ و $D_{0.65}L_{30}$) نسبت به زهکش‌های عمیق ($D_{0.9}L_{30}$ و Bi-level-D) در روزهای اول زهکشی، دبی بیشتری داشتند. بعد از چهار روز از بارندگی، دبی زهکش‌ها به هم نزدیکتر شده و زهکش‌های عمیق نیز دبی تقریبا برابری با زهکش‌های کم عمق داشتند. سنگین بودن خاک شالیزار و وجود سخت لایه (Hard pan) در لایه 30 تا 60 سانتی‌متری، از دلایل کم بودن دبی زهکش‌های عمیق و فاصله زیاد بود. این لایه سبب می‌شود که آب در قشر سطحی یا لایه شخم به صورت افقی به سمت زهکش حرکت نموده و از روی زهکش به صورت جریان عمودی وارد آن شود (15).

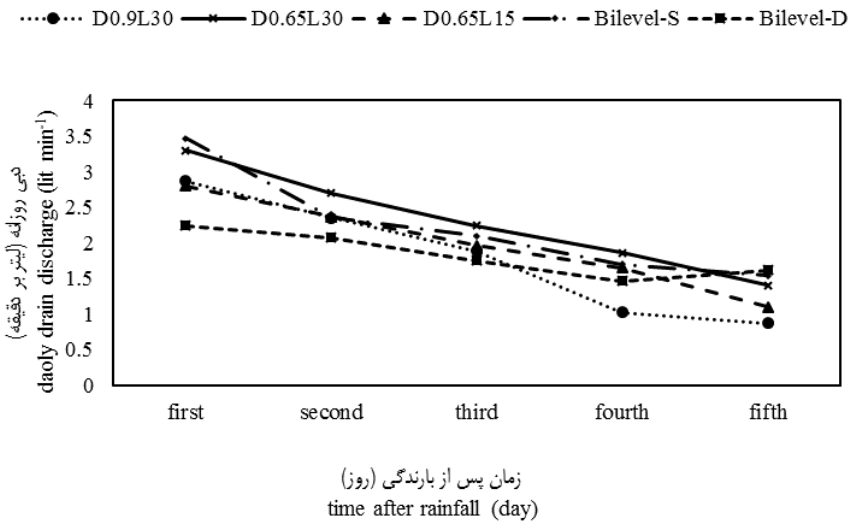
www.SID.ir

یکسان بودن دبی زهکش‌های عمیق در طی روزهای بعد از اندازه‌گیری را می‌توان متأثر بودن از وضعیت اشباع خاک دانست که به دلیل شدت کم در تخلیه زه‌آب توسط این زهکش‌ها، خاک همچنان دارای سطح ایستابی بالا و حالت اشباع بوده است. اما در زهکش‌های کم‌عمق، دبی اولیه زیاد بوده و بخش اعظم آب موجود در خاک تخلیه شد. در سال دوم، بیشترین مقدار دبی در روز اول مربوط به تیمارهای کم عمق بود. نزدیک شدن دبی زهکش‌ها بعد از روز سوم مشاهده شد. با بهبود ساختمان خاک، تأخیر در رسیدن آب به لایه‌های پایین‌تر به دلیل سنگین بودن خاک و وجود سخت لایه (Hard pan)، کاهش یافت.



شکل 4- دبی روزانه تیمارهای زهکشی در سال اول

Figure 4- Daily discharge of drain treatment in first year



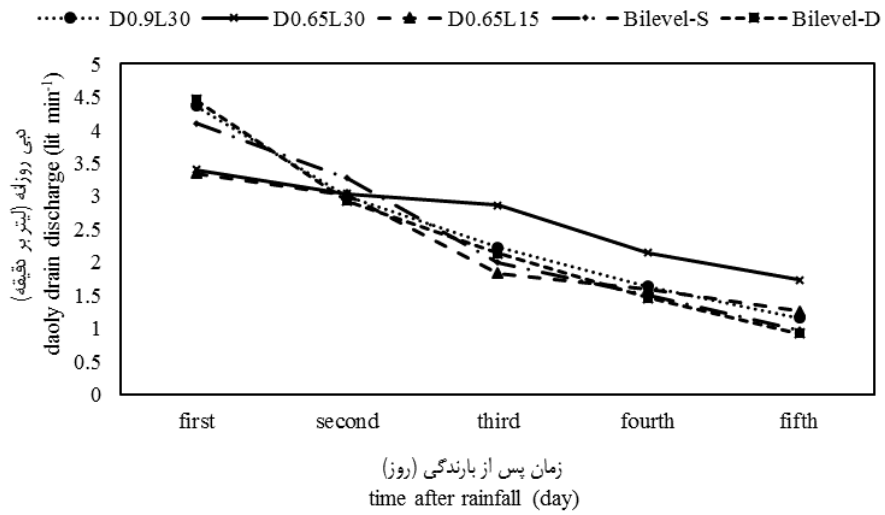
شکل 5- دبی روزانه تیمارهای زهکشی در سال دوم

Figure 5- Daily discharge of drain treatment in second year

در سال سوم، از همان روز اول، دبی زهکش‌ها به هم نزدیک بودند. با گذشت زمان و زهکشی خاک در طولانی مدت، دبی زهکش‌های عمیق افزایش یافت به طوری‌که در سال چهارم، دبی زهکش‌های عمیق ($D_{0.9}L_{30}$ و Bi-level-D) در اولین روز بعد از بارندگی بیشتر از زهکش کم‌عمق بود و زهکش‌های با فاصله زیاد دبی بیشتری را نسبت به زهکش فاصله کم، تخلیه کردند. بهبود

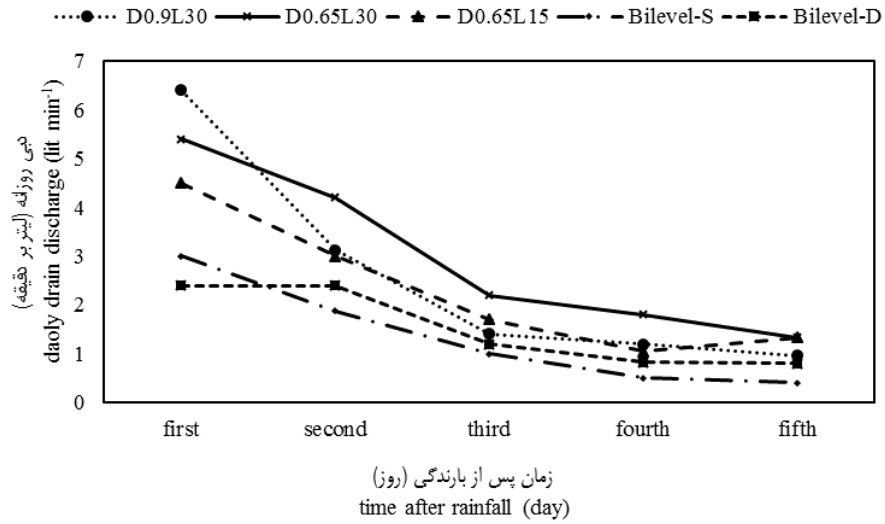
www.SID.ir

ساختمان خاک در طی سال‌های زهکشی یکی از دلایل بهبود عملکرد زهکش‌های عمیق می‌باشد. دلیل دیگر را می‌توان در سطح بیشتر تحت زهکشی سیستم با فاصله زهکشی 30 متر در مقایسه با سیستم با فاصله زهکشی 15 متر دانست. همچنین دبی زهکش‌های با فاصله زیاد ($D_{0.65}L_{30}$) ، از روز دوم نسبت به زهکش‌های با فاصله کم ($D_{0.65}L_{15}$) بیشتر شده است. اما با این وجود، در روز اول دبی آن کمتر بوده و می‌توان دلیل آن را تأثیر جریان افقی دانست. با گذشت زمان و بهبود ساختمان خاک، می‌توان عملکرد بهتری از زهکش‌های با فاصله زیاد (30 متر) نیز مشاهده کرد.



شکل 6- دبی روزانه تیمارهای زهکشی در سال سوم

Figure 6- Daily discharge of drain treatment in third year



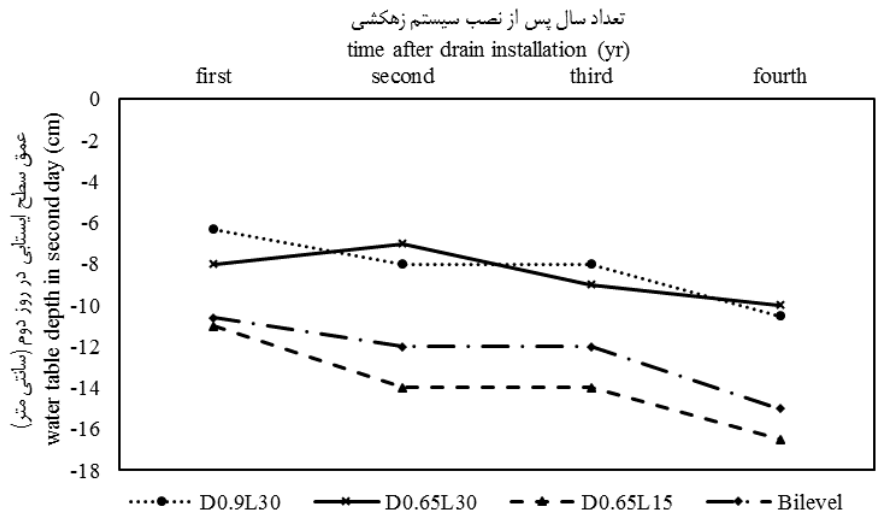
شکل 7- دبی روزانه تیمارهای زهکشی در سال چهارم

Figure 7- Daily discharge of drain treatment in fourth year

روند نوسانات سطح ایستابی در طول فصل کشت عامل مهمی برای ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی است (7). حداکثر مقدار عمق سطح ایستابی در روز دوماز شروع زهکشی برای تیمارهای مختلف طی چهار سال زهکشی در شکل (8) ارایه شد. کمترین و بیشترین

www.SID.ir

میزان افت سطح ایستابی در سال اول زهکشی 6/3 و 11 سانتی‌متر بود که به ترتیب مربوط به تیمارهای $D_{0.9}L_{30}$ و $D_{0.65}L_{15}$ بود. به دلیل هدایت هیدرولیکی کم خاک زیرین شالیزار مورد مطالعه، نصب زهکش در عمق و فاصله بیشتر سبب افت کندتر سطح ایستابی شد. با انجام زهکشی و بهبود شرایط خاک در سال‌های سوم و چهارم، عملکرد سیستم زهکشی عمیق بهتر شده و افت سطح ایستابی در این سیستم‌ها بیشتر شد. در زهکشی دو عمقی، با افزایش سرعت تخلیه زهکش عمیق و بهبود شرایط خاک در نفوذ عمقی، افت سطح ایستابی در این تیمار به مرور زمان بیشتر شد. همچنین براساس مشاهدات از پایش سطح ایستابی، در سال‌های اول و دوم بعد از روز پنجم؛ و در سال سوم و چهارم، بعد از روز چهارم، سطح ایستابی زهکش‌های عمیق به پایین‌تر از زهکش‌های کم‌عمق نزول می‌کرد.



شکل 8- حداکثر عمق سطح ایستابی در روز دوم بعد از بارندگی
Figure 8- Water table maximum in second day after rainfall

جدول (3) عملکرد محصول کلزا در تیمارهای مختلف را نشان می‌دهد. در اولین سال زهکشی، بیشترین عملکرد دانه مربوط به تیمار زهکشی $D_{0.65}L_{15}$ و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار $D_{0.9}L_{30}$ بود. در سال دوم میزان عملکرد دانه در کلیه تیمارها افزایش یافت. از طرف دیگر، عملکرد سطح تحت زهکشی سیستم با زهکش عمیق ($D_{0.9}L_{30}$) در سال دوم و چهارم بیشتر از زهکش کم‌عمق ($D_{0.65}L_{30}$) شد. این به دلیل افت بیشتر سطح ایستابی در طی روزهای بعد از بارندگی بود و همچنین با بارندگی بعدی، اشباع شدن خاک تا لایه سطحی در کرت دارای زهکش‌های عمیق، دیرتر صورت گرفته و یا حتی تا سطح زمین نمی‌رسید. بهتر شدن عملکرد دانه در تیمارهای زهکشی در نتیجه شرایط تهویه بهتر با مرور زمان در کرت‌های تحت پوشش سیستم‌های زهکشی می‌باشد. سلحشور دلیوند و همکاران (23) در بررسی تاثیر زهکشی سطحی بر عملکرد کلزا، افزایش عملکرد دانه و درصد روغن را بر اثر زهکشی گزارش کردند و به طور کلی در خاک‌های سنگین شالیزاری در مناطق با بارندگی بالا، زهکشی با فاصله 4 متر را نسبت به فاصله 2 متر پیشنهاد کردند. همچنین عملکرد سطح تحت زهکشی سیستم دو عمقی بیشتر از بقیه سیستم‌ها بود. درزی و همکاران (4) در بررسی اثر زهکشی میان فصل با زهکش‌های زیرزمینی بر عملکرد محصول برنج دریافتند که عملکرد در کرت‌های تحت زهکش‌های دوعمقی بیشتر از زهکش‌های معمولی بود.

به نظر می‌رسد با توجه به روند افزایش محصول طی سال‌های بعد از نصب سیستم‌های زهکشی، دستیابی به پتانسیل عملکرد (3500 کیلوگرم در هکتار (26)) در این اراضی شالیزاری دور از دسترس نباشد. این امر می‌تواند با بهبود شرایط خاک بر اثر زهکشی، محقق شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق که با هدف افزایش بهره‌وری از اراضی شالیزاری انجام شده است تأثیر نصب سیستم‌های زهکشی زیرزمینی بر دبی زهکش‌ها، افت سطح ایستابی و عملکرد گیاه کلزا به عنوان کشت دوم بررسی شد. در سال اول به دلیل سنگین بودن بافت خاک، عملکرد سیستم‌های زهکشی کم‌عمق با فاصله کم ($D_{0.65}L_{15}$) در تخلیه زه‌آب و میزان محصول بهتر بود.

Archive

www.SID.ir

جدول 3- میزان عملکرد دانه در تیمارهای مختلف (کیلوگرم در هکتار)

Table 3- Grain yield in different treatment (kg ha^{-1})

سیستم‌های زهکشی Drainage systems	سال اول First year	سال دوم Second year	سال چهارم Fourth year
$D_{0.65}L_{15}$	1129	1991	2020
$D_{0.65}L_{30}$	941	2088	2300
Bilevel	795	2493	2553
$D_{0.9}L_{30}$	688	2409	2498

اما نتایج سال چهارم نشان داد که به مرور زمان، کارایی زهکش‌های عمیق افزایش یافته و عملکرد محصول در مساحت تحت زهکشی آن‌ها، بیشتر از بقیه سیستم‌ها شده است. این بهبود در کارایی، شامل افزایش دبی و افت سطح ایستابی نیز بوده است. همچنین زهکش‌های با فاصله زیاد نیز به مرور زمان بهبود یافتند و با روند مشاهده شده، بهبود عملکرد آن‌ها در سال‌های بعد نیز قابل مشاهده خواهد بود. با توجه به شرایط خوب زهکش‌های عمیق و با فاصله زیاد در بهبود بهره‌وری از اراضی شالیزاری و از طرف دیگر اثرات مضر کمتر زیست‌محیطی آن از لحاظ شوری (10) استفاده از زهکش‌های با فاصله زیاد برای این اراضی توصیه می‌شود. از طرف دیگر، افزایش کم در عمق زهکش از 0/65 متر به 0/9 متر همراه با افزایش فاصله زهکش به 30 متر، نسبت به زهکش با فاصله کم (15 متر) و حتی عمق 0/65 متر، هزینه کمتری را در بر خواهد داشت. با توجه به کاهش هزینه‌های نصب زهکش با فاصله زیاد، به دلیل بهبود شرایط عملکرد این سیستم‌ها طی دو الی سه سال، می‌توان در درازمدت سیستم زهکشی ارزانتری داشت و باعث بهبود وضعیت اقتصادی کشاورزان به دلیل افزایش عملکرد شد.

منابع

1- Ahmadi M.Z. 1995. A field approach to estimation of humid area drainage coefficients. Agricultural water management. 29: 101-109.

2- Chan C.S., and Cheong A.W. 2001. Subsurface drainage effect on soil and rice crop. Journal of Tropical Agricultural and Food Science. 29(2):177-187.

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

4- Darzi-Naftchali A., Mirlatifi S.M., Shahnazari A., Ejlali F., and Mahdian M.H. 2012. Influence of surface and subsurface drainage on rice yield and grain in paddy fields. Journal of Water Research in Agriculture. 26(1):61-70.(in Persian)

5- Darzi-Naftchali A., Mirlatifi S.M., Shahnazari A., Ejlali F., and Mahdian M.H. 2013. Influence of surface and subsurface drainage on nitrogen losses from paddy fields during a rice season. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 7(3):294-305. (in Persian with English abstract).

6- Darzi-Naftchali A., and Shahnazari A. 2014. Influence of subsurface drainage on the productivity of poorly drained paddy fields. Eur. J. Agron., 56, 1–8.

7- Ebrahimian H., liaghat A., Parsinejad M., and Akram M. 2008. Evaluation of subsurface drainage performance with rice husk envelope (Case study: Ran drainage network, Behshahr). Journal of Water and Soil. 22(2): 371-381. (in Persian with English abstract)

8- FAO. 1995. FAO Statistical Year Book; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Bangkok, Thailand, p. 2014.

9- Faramarzi M., Mostafazadeh-fard B., Mousavi F., and Liaghat A.M. 2006. Effect of discharge rate on water table profile in subsurface drainage using drain tube. Journal of Agricultural sciences and Natural Resources. 12(6):10 p. (in Persian with English abstract)

10- Jafari M., Shahnazari A., Ahmadi M.Z., and Darzi A. 2015. Drain discharge and salt load in response to subsurface drain depth and spacing in paddy fields. Journal of Irrigation and Drainage Engineering (ASCE). 141(11):04015017-1-6.

11- Jafari Talukolaee M., Shahnazari A., and Ziatabar-Ahmadi M.Kh. 2013. An Investigation of the Effect of Two Drainage Envelope Types on Subsurface Drainage Flow Rates in Paddy Fields of Mazandaran Province. Journal of Water and Soil. 27(1): 123-130.

12- Kirkham D., and Zeeuw J.W. 1952. Field measurment for tests of soil drainage theory. Soil Science Society

Archive of SID

www.SID.ir

American Proc. 16:286-293.
13- Matsushima S. 1970. Crop Science in Rice: Theory of yield determination and its application. Tokyo: Fuji Publishing Co. Ltd.
14- Ogino Y., and Murashima K. 1992. Planning and design of subsurface drainage for paddies in Japan. Paper presented at 5th Int. Drainage workshop. Feb. 8–15, 1992, Lahore, Pakistan. Organizer: ICID.
15- Ogino Y., and Ota S. 2007. The evolution of Japan'sbrice field drainage and development of technology. Irrigation and Drainage. 56:69–80.
16- Okamoto M. 1997. Drainage in Japan. Country report in the 7th Int. Drainage Workshop. Drainage for the 21st Century. 17–21 Nov. 1997, Pulau Pinang, Malaysia. Organizer: MANCID.
17- Oosterbaan R.J., and Nijland H.J. 1994. Determining the saturated hydraulic conductivity. Chapter 12 in: H.P.Ritzema (Ed.), Drainage Principles and Applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 16, second revised edition, 1994, Wageningen, The Netherlands.
18- Paasonen-Kivekäs M., Vakkilainen P., and Karvonen T. 2008. Nutrient transport through tile drains on a clayey field. In: Proceedings of the 10th international drainage workshop of ICID working group on drainage, Helsinki/Tallinn 6–11.7.2008. Helsinki University of Technology Water Resources Publications 16, Helsinki, Finland, pp. 142–152.
19- Ramana Rao K.V., and Bhattacharya A.K. 2001. Salinity distribution in paddy root zone under subsurface drainage. Agriculture Water Management. 48:169-178.
20- RDC (Rural Development Corporation (in Korean)). 1999. History of agricultural land and water development projects. Published by International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).
21- Ritzema H.P., Satyanarayana T.V., Raman S., and Boonstra J. 2008. Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields. Agricultural Water Management. 95(3):179-189.
22- Rimidis A., and Dierickx W. 2004. Field research on the performance of various drainage materials in Lithuania. Agricultural Water Management. 68:151–175.
23- Salahshoor Delivand F., Hoseinzade Dalir A., Fakherifard A., Kavosi M., Yazdani M.R., and Davatger N. 2007. Effects of surface drainage and different rates of nitrogen fertilizer on oil percentage, protein and grain yield of rapeseed. Journal of Agricultural Engineering Research. 8(2):119-134. (in Persian with English abstract)
24- Singh R., Helmers M.J., CrumptonW.G., and Lemke D.W. 2007. Predicting effects of drainage water management in Iowa's subsurface drained landscapes. Agricultural water management. 92:162–170.
25- Wahba M.A.S., and Christen E.W. 2006. Modeling subsurface drainage for salt load management in southeastern Australia. Irrigation Drainage System Journal. 20:267-282.
26- Wiskow, E. and van der Ploeg R. 2003. Calculation of drain spacings for optimal rainstorm flood control. J Hydrol. 272, 163–174.
27- Yazdani M.R., Ghodsi M., and Mousavi S.F. 2007. Comparison of type and distance of open drains in Rapeseed cultivation after harvest rice in Rasht. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science. 11(1):1-12. (in Persian with English abstract)

Archive of SID

www.SID.ir

Journal of Water and Soil
Vol. 30, No. 6, Jan.-Feb. 2017, p. 1848-1859

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد 30، شماره 6، بهمن – اسفند 1395، ص. 1859-1848

The Effect of Different Subsurface Drainage Systems on Improvement of Water Flow in Paddy Fields

Gh. Aghajani Mazandarani[1]*

Received: 04-07-2015
Accepted: 19-06-2016

Introduction: Better use of water and soil resources in paddy fields, increase in rice production and farmer's income, installation of subsurface drainage system is necessary. The main goalof these systems, are aeration conditions improvement prevention of water logging, yield increase, land use increase and multiuse of the land. In different countries, installation of subsurface drainage cause yield increase and working condition on the land, but no research has been conducted in different depths and spacing. On the other hand, spacing and depth are the most important parameters in the installation of drainage systems, have a direct effect on incoming water into the drains. The aim of this research, is an investigation of the effect of subsurface drainage with different depths and spacing on discharge rate variation and water table fall, in order to analyze the improvement of water flow movement in the soil. Also, study the effect of different drainage systems on the increase of the canola yield as the second cultivation in these treatments have been compared.

Materials and Methods: To measure hydraulic conductivity in different depths, the auger holes have been dug (excavated). The saturated hydraulic conductivity in these holes wasdetermined using Ernst method (1950) before installation of drainage systems. In the drainage pilot plot of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University three subsurface drainage systems with mineral envelope have been installed. 1- The first one with the 0.9 m depth and 30 m spacing (D_{90} L_{30}), 2- The second one with 0.65 m depth and 15 m spacing ($D_{0.65}$ L_{15}) and 3- The third one with 0.65 m depth and spacing ($D_{0.65}$ L_{30}) and one bi-level system with mineral envelope including four drains of 15 m spacing with 0.9 m and 0.65 m depths were installed alternatively. After auger hole equipment installations, in the middle spacing of two subsurface and water table reading possible, the water table fluctuation and drain outlet discharge rate from farm drains during canola growing season were measured on a daily basis. Also, canola yield during 4 years after drainage systems were monitored.

Results and Discussion: The results showed that mean discharge rates of drainage systems have increased with time and in the fourth year it was better than first and second years. Duringthe second year, the highest discharge rate onthe first day was in the low depth treatment and after 3 days the discharge rates become the difference among less. In the third year, the discharge rates of high spacing drains ($D_{0.65}$ L_{30}) have become higher than of spacing drains ($D_{0.65}$ L_{15}) discharge rates. But, in the first day its discharge rate was less and one can conclude that it is due to horizontal flow. With passing time and soil structure improvement, one can observe better yield from drains with higher spacing (30 m) also. By performance of drainage and soil conditions improvement in the third and fourth year, the deeper drainage systems have becomes better and water table fall of deep drain discharge rate and soil condition improvement in these systems become higher. In bi-level drainage, by increasing deep percolation, the water table fall in this treatment increased with time. Also, based on monitoring water table, in the first and second years after 5th day and in the third and fourth years after 4th day the water tables of deep drains decreased to lower depth drains. Due to heavy soil in paddy fields and existence of hardpan, the performance of low depth drains in falling water table was better in the first years. With passing time and performance of drainage the conditions for water movement in the soil become better and performance of deep drainage systems improved and at the fourth year, deep drainage systems had better performance in draining water with respect to low depth drainage systems. Also, canola yield as second cultivation, has increased from first to fourth year and along with important of soil aeration conditions and performance of drainage systems, the grain yield hasincreased in different drainage treatments. The results showed a direct relationship between improvement of system performance and increase in grain yield. In the second year, grain yield increased in all treatments. On the other hand, the yield under drainage systems with deeper depth ($D_{0.9}$ L_{30}) even higher in the 2nd and 4th years than with low depth drain ($D_{0.65}$ L_{30}). This was because of more fall in water table levels during days after rainfall and also with next rainfall, saturation of soil up to surface layer in the plots with deeper drains were performed later and it may not reach up to thesoil surface.

Conclusion: Due to betterconditions of deep drains and with higher spacing in the improvement of paddy

1- Instructor in Department of Water Engineering, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources
(*- Coresponding Author Email: q_aqajani@yahoo.com)

Archive of SID

www.SID.ir

field use and also less environmental harm use of drains with higher spacing are recommended for these lands. On the other hand,a low increase in drain depth from 0.65 m to 0.9 m along with increase in spacing of30 m with respect to 15 m and even with 0.65 m depth, will have less cost. Due to decrease in the costs of drain installation with higher spacing, due to improvement of conditions, the performance of these systems in 2 to 3 years one can have cheaper drainage systems in the longest time and will improve the economic situation of farmers due to higher yield.

Keywords: Canola yield, Drain depth, Drain discharge, Drain spacing, Water table

Archive of SID

www.SID.ir