گزینش عمق و فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی و مقایسه چند معادله زهکشی در کشت برنج

مریم علیزاده، پیمان افراسیاب[۱] *، محمدرضا یزدانی، عبدالمجید لیاقت و معصومه دلبری

دانش‌آموخته دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.

malizadeh87@gmail.com

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.

peyman.afrasiab@uoz.ac.ir

استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

smryazdany@yahoo.ca

استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران (کرج)، ایران.

aliaghat@ut.ac.ir

دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، ایران.

masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

چکیده

زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در مرحله برداشت برنج دو عملیات مهم مدیریت آبیاری در شالیزار است که به‌ترتیب سبب افزایش عملکرد محصول و شرایط مناسب‌تر برای برداشت برنج می‌شوند. به‌دلیل شرایط منحصربه‌فرد اراضی شالیزاری استان گیلان، تصمیم‌گیری در مورد فاصله (L) و عمق (D) مناسب زهکش‌های زیرزمینی و معادله مناسب برای تعیین فاصله زهکش ها در اراضی شالیزاری در مرحله زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل نیازمند تحقیقات می‌باشد. بنابراین، در این پژوهش، کارایی فاصله و عمق‌های مختلف زهکش‌های زیرزمینی در کنترل سطح ایستابی و همچنین دقت معادلات ماندگار و غیرماندگار در دو مرحله زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در اراضی شالیزاری گیلان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. تیمارهای مورد مطالعه شامل شش سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی ($L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$، $L_{15}D_1$، زهکش سطحی و شاهد (بدون سیستم زهکشی زیرزمینی و سطحی)) بودند. طول کلیه زهکش‌های زیرزمینی ۴۰ متر و جنس لوله‌ها پی‌وی‌سی موج‌دار با قطر ۱۲۵ میلی‌متر بود. از پوسته برنج به‌عنوان پوشش اطراف لوله‌های زهکش استفاده شد. نتایج نشان داد که زهکش زیرزمینی با فاصله ۱۵ متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر (به‌دلیل ایجاد عمق سطح ایستابی مناسب و عملکرد بیشتر) در مرحله زهکشی میان‌فصل و در زمان برداشت برنج زهکش‌های با فاصله ۱۰ متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر (به‌دلیل بیشترین مقاومت به نفوذ پنترومتر و کمترین رطوبت وزنی خاک) به‌عنوان بهترین تیمار زهکشی در مرحله زهکشی پایان فصل قابل پیشنهاد هستند. معادله داگان، هوخهات و معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان معادلات مناسب برای تعیین فاصله زهکش‌ها در مرحله زهکشی میان‌فصل به‌دست آمد. همچنین، برای زهکشی در زمان برداشت برنج، معادله هوخهات، کرکهام، داگان، گلوور- دام و معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان فرمول مناسب برای تعیین فاصله زهکش-های زیرزمینی انتخاب شدند.

واژه‌های کلیدی: اراضی شالیزاری، زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل، معادلات زهکشی

۱- آدرس نویسنده مسئول: زابل، گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.

* - دریافت: شهریور ۱۳۹۶ و پذیرش: دی ۱۳۹۶

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

به‌دلیل اهمیت زهکش‌های زیرزمینی در کنترل عمق سطح ایستابی، مطالعات وسیعی جهت اجرای اقتصادی‌تر پروژه‌های زهکشی نظیر بهینه‌سازی فاصله و عمق زهکش‌ها در حال انجام است. در اراضی پست شالیزاری، به علت وجود بارندگی زیاد و لایه محدودکننده کم‌عمق خاک، بخش اعظم اراضی در طول سال به‌صورت ماندابی و اشباع هستند و پس از برداشت برنج، ۸۰ تا ۹۰ درصد اراضی شالیزاری در هفت ماه باقیمانده از سال به‌دلیل شرایط ماندابی و زهکشی ضعیف خاک بلااستفاده رها می‌شوند. این در حالی است که با توجه به استعداد اراضی و فراوانی بارش‌های جوی، با رفع موانع و مشکلات فعلی، که مهم‌ترین آنها زهکشی می‌باشد، امکان توسعه کشت دوم (گیاهانی مانند کلزا، باقلا و سبزی) در اراضی شالیزاری پس از برداشت برنج به‌وجود خواهد آمد. علاوه بر زهکشی به‌منظور کشت دوم در فصل پاییز و زمستان، دو مرحله مهم دیگر زهکشی در فصل کشت برنج (زهکشی میان‌فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج) وجود دارد که به‌ترتیب سبب افزایش عملکرد محصول و شرایط مناسب‌تر برای برداشت برنج می‌شوند (درزی نفت‌چالی و همکاران، ۱۳۹۱ الف؛ پلنگی و همکاران، ۱۳۹۳؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹٤). مطالعه تأثیر زهکشی میان‌فصل در اراضی شالیزاری بر عملکرد برنج نشان داد که زهکشی در این مرحله باعث افزایش اندکی در میزان عملکرد محصول می‌شود (متیو و همکاران، ۲۰۰۱؛ ساتیانارایانا و بونسترا، ۲۰۰۷؛ رحمان و همکاران، ۲۰۱۳؛ پلنگی و همکاران، ۱۳۹۳؛ چاکانی، ۱۳۹٤).

ارزیابی تأثیر زهکشی زیرزمینی کنترل‌شده بر قابلیت زهکشی و میزان زهاب خروجی در اراضی شالیزاری نشان داد که زهکش‌های زیرزمینی خطرات ناشی از ماندابی در مرحله زهکشی میان‌فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج را به حداقل رسانده‌اند (پنگ و همکاران، ۲۰۱۵). بررسی تأثیر عمق و فاصله زهکش‌ها بر توانایی زهکش‌های زیرزمینی در خروج آب مازاد در منطقه‌ای با الگوی کشت برنج و کلزا نشان داد که با افزایش فاصله زهکش‌های زیرزمینی، توانایی زهکش‌ها در خروج آب مازاد کم می‌شود. این موضوع می‌تواند باعث ایجاد حالت ماندابی در مرحله زهکشی میان‌فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج گردد که سبب تأخیر در برداشت محصول برنج می‌شود. در حالی که با افزایش عمق زهکش‌ها، میزان آب خروجی از لوله‌ها بالا رفته و خطرات ماندابی کاهش می‌یابد (جعفری و همکاران، ۲۰۱۵).

طی پژوهشی، تأثیر زهکشی سطحی میان‌فصل بر مقاومت فروروی خاک در اراضی شالیزاری مورد بررسی قرار گرفت. مقاومت فروروی خاک به‌طور میانگین ۲۲۸/۸ کیلوپاسکال به‌دست آمد. همچنین، اعمال زهکشی میان-فصل با تداوم ۷ تا ۱۳ روز در شالیزارهای منطقه مورد مطالعه از نظر توسعه مکانیزاسیون در مزارع شالیزاری و امکان برداشت مکانیزه قابل توصیه است (دهقانی و همکاران، ۱۳۹۳). فاصله قرارگیری لوله‌های زهکش از پارامترهای مهم در طراحی زهکش‌های زیرزمینی می‌باشد. به‌طوری که فاصله زهکش‌ها از طریق معادلات ماندگار و غیرماندگار با توجه به وجود داده‌های مورد نظر به دست می‌آید. بدین جهت، پژوهشی برای بررسی عملکرد سیستم زهکشی زیرزمینی تحت شرایط غیرماندگار انجام شد. مقادیر محاسبه‌شده فواصل زهکش‌ها بین ۱۱ تا ۱۵ متر متغیر بود. فواصل به‌دست آمده از معادلات غیرماندگار عملکرد بهتری از فواصل به‌دست آمده از معادلات ماندگار داشتند (رامش چاندرا و شیامسوندار، ۲۰۰۷).

ارزیابی راندمان دفع آب مازاد به‌وسیله سیستم-های زهکشی در شرایط استفاده از چهار معادله غیرماندگار زهکشی شامل گلوور- دام، ون‌شیلفگارد، هوخهات تلفیقی و گلوور- دام اصلاح شده نشان داد که درصد انحراف بین فواصل زهکش واقعی و برآورد شده برای معادلات مذکور به‌ترتیب ۳۳/۳۱- تا ۳۱/۵۵- درصد، ۹/٤ تا ۱۷/۷ درصد، ۱۱/۸٤ تا ۲۰/۸۳ درصد و ٦/۱ تا ۱٤/٦۲ درصد بود که

Archive of SID

www.SID.ir

نشان‌دهنده درصد خطای کمتر معادله گلوور- دام اصلاح شده می‌باشد (کومار و همکاران، ۲۰۱۳).

ارزیابی معادلات زهکشی غیرماندگار در خاک-های شور ناهمگن نشان داد که در میان معادلات لوتین و ورستل، گلوور، ون‌شیلفگارد، گلوور اصلاح شده و هوخهات تلفیقی، معادلات ون‌شیلفگارد، گلوور اصلاح شده و هوخهات تلفیقی، بار هیدرولیکی را کاملاً نزدیک به بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده پیش‌بینی کردند. معادله لوتین و ورستل، بار هیدرولیکی را بسیار کمتر از مقدار اندازه‌گیری‌شده با انحراف ۵/۳۲- تا ٦٤/۳۵- درصد پیش-بینی نمود. معادله گلوور، بار هیدرولیکی را با انحراف ٤/۲۵ تا ۳۰/٦٤ درصد پیش‌بینی نمود. معادلات گلوور اصلاح شده، هوخهات تلفیقی و ون‌شیلفگارد به‌ترتیب به عنوان معادلات مناسب برای طراحی زهکشی در نظر گرفته شدند (پالی، ۲۰۱۳).

در آزمایشی در ۲۵ هکتار از اراضی شالیزاری مرکز توسعه منابع کشاورزی هراز واقع در استان مازندران، پنج معادله ماندگار شامل هوخهات، کرکهام، داگان، ارنست، ارنست- هوخهات و سه معادله غیرماندگار شامل گلوور- دام، ون‌شیلفگارد و دزو- هلینگا برای محاسبه فاصله زهکش مورد مقایسه قرار گرفتند. حداقل و حداکثر فاصله زهکش بین ۲٦ و ٦۳ متر به‌ترتیب از فرمول گلوور- دام و ارنست به‌دست آمد (درزی و همکاران، ۲۰۱٤).

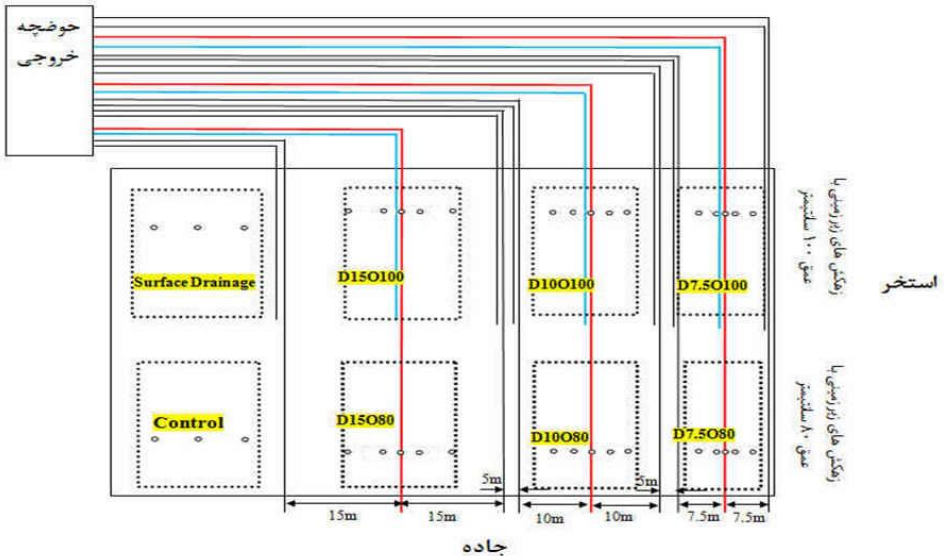
با توجه به نتایج متفاوت مطالعات مذکور و شرایط منحصربه‌فرد اراضی شالیزاری استان گیلان (از نظر بافت خاک، نوع کانی رس، بارندگی و هاردپن موجود)، تصمیم‌گیری در مورد فاصله و عمق مناسب زهکش‌های زیرزمینی و معادله مناسب جهت تعیین فاصله زهکش در اراضی شالیزاری در دو مرحله مهم زهکشی (زهکشی میان فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج) نیازمند تحقیقات بیشتری می‌باشد. بنابراین، در این پژوهش، کارایی فاصله و عمق‌های مختلف زهکش‌های زیرزمینی در کنترل سطح ایستابی در این دو مرحله مهم زهکشی در اراضی شالیزاری گیلان مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت، همچنین، بهترین معادله زهکشی در مرحله زهکشی میان‌فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج (زهکشی پایان‌فصل) معرفی گردید.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در فصل کشت برنج (سال ۱۳۹۳) در اراضی شالیزاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور، واقع در پنج کیلومتری شهرستان رشت در استان گیلان (N ′۱٦ °۳۷ و E ′۳٦ °٤۹ و ارتفاع هفت متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد) در زمینی به مساحت ۱/۵ هکتار با ابعاد ۱۰۰×۱۵۰ متر انجام شد. سیستم زهکش زیرزمینی در قالب یک طرح تحقیقاتی در سال ۱۳۹۰ احداث شده بود. تیمارهای مورد مطالعه در آزمایش حاضر شامل شش سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از عمق ۰/۸ متر با فاصله ۷/۵ متر ($L_{7.5}D_{0.8}$)، عمق ۰/۸ متر با فاصله ۱۰ متر ($L_{10}D_{0.8}$)، عمق ۰/۸ متر با فاصله ۱۵ متر ($L_{15}D_{0.8}$)، عمق یک متر با فاصله ۷/۵ متر ($L_{7.5}D_1$)، عمق یک متر با فاصله ۱۰ متر ($L_{10}D_1$) و عمق یک متر با فاصله ۱۵ متر ($L_{15}D_1$) و سیستم زهکشی سطحی و شاهد (بدون سیستم زهکشی) بودند. جزئیات بیشتر در مورد دلیل انتخاب تیمارها در مقاله علیزاده و همکاران (۱۳۹۵ الف) ارائه شده است. شمای مزرعه مورد مطالعه و سامانه‌های مختلف زهکشی در شکل ۱ ارائه شده است. طول کلیه زهکش‌های زیرزمینی ٤۰ متر و جنس لوله‌ها پی‌وی‌سی موج‌دار با قطر ۱۲۵ میلی‌متر است. از پوسته برنج به‌عنوان پوشش اطراف لوله‌های زهکش با قطر متوسط ۱۵ سانتی‌متر در اطراف لوله‌های زهکش استفاده شد. اندازه‌گیری‌ها در کرت‌های تحت پوشش لوله‌های اصلی انجام شد. خطوط اصلی زهکش با رنگ آبی و قرمز نشان داده شده است. بقیه لوله‌های زهکش نقش محافظ را به عهده دارند (شکل ۱). خصوصیات فیزیکی خاک مورد مطالعه تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر و میانگین برخی پارامترهای هواشناسی به‌ترتیب در جداول ۱ و ۲ ارائه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- آرایش سامانه‌های زهکشی در مزرعه آزمایشی

جدول ۱- خواص فیزیکی خاک مورد مطالعه در عمق‌های مختلف

عمق نمونه‌برداری (cm)	ماده آلی (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت
۰-۱۶	۱/۶۸	۷	۴۲	۵۱	رس سیلتی
۱۶-۴۶	۰/۲۵	۱۱	۴۴	۴۵	رس سیلتی
۴۶-۸۰	۰/۳۵	۱۳	۳۲	۵۵	رسی
۸۰-۱۲۰	۰/۲۲	۵	۴۴	۵۱	رس سیلتی

جدول ۲- میانگین ماهانه برخی پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول دوره رشد برنج

ماه	بارندگی (میلی‌متر در ماه)	دمای بیشینه (سانتی‌گراد)	دمای کمینه (سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی بیشینه (٪)	رطوبت نسبی کمینه (٪)
اردیبهشت	۱۱/۲	۲۵/۷	۱۵/۵	۹۴	۶۰
خرداد	۱۵/۳	۲۸/۷	۱۹/۸	۹۴	۶۴
تیر	۱۵	۳۰/۷	۲۲	۹۱	۵۵
مرداد	۱/۳	۳۳/۶	۲۰/۹	۸۹	۴۳
شهریور	۴۲/۲	۳۰/۹	۲۱/۱	۹۵	۵۶

عملیات نشاکاری، اعمال زهکشی میان‌فصل و برداشت محصول به‌ترتیب در تاریخ‌های پنج خرداد، ۱۵ تیر و اول شهریور سال ۱۳۹۳ انجام شد. عملیات نشاء با استفاده از ماشین نشاکاری با فاصله ۳۰×۱۷/۵ سانتی‌متر انجام شد. مقدار کود اوره و سوپرفسفات تریپل به‌ترتیب ۱۰۰ و ۵۰ کیلوگرم در هکتار در دو مرحله (نیمی از آن بعد از نشاء و نیم دیگر آن بعد از وجین) به زمین داده شد. برای سم‌پاشی از سم بوتاکلرور استفاده شد. عملیات آبیاری دو نوبت در هفته با عمق آب پنج تا هفت سانتی‌متر در کرت‌ها انجام شد. زهکشی میان‌فصل در زمان حداکثر پنجه‌زنی و ابتدای رشد زایشی در تاریخ ۱۵ تیرماه اعمال شد. بدین ترتیب که آبیاری در همه کرت‌ها غیر از شاهد قطع شد و به‌منظور اعمال زهکشی میان‌فصل، لوله‌های زهکش زیرزمینی باز شدند و بعد از گذشت نه روز خروجی زهکش‌ها با استفاده از رایزر بسته شد و آبیاری انجام گرفت. همچنین ١٤ روز قبل از برداشت برنج، خروجی زهکش‌ها باز شد و زهکشی پایان‌فصل انجام گرفت. قرائت عمق سطح ایستابی از طریق چاهک در فصل کشت برنج از تاریخ ١٣٩٣/٤/١٤ تا

Archive of SID

www.SID.ir

۱۳۹۳/۶/۲ به‌صورت روزانه انجام شد. جزئیات بیشتر در مورد نحوه قرائت سطح ایستابی در مقاله علیزاده و همکاران (۱۳۹۵ ب) ارائه شده است. همچنین، دبی خروجی زهکش‌ها به روش حجمی به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۵ الف). اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی عمودی با روش استوانه مضاعف انجام شد و مقدار هدایت هیدرولیکی قائم برای لایه‌های ۱۶-۰، ۴۶-۱۶، ۸۰-۴۶ و ۱۲۰-۸۰ سانتی‌متر به‌ترتیب ۱/۳، ۰/۵۶، ۵/۵ و ۲/۵۸ میلی‌متر بر روز به‌دست آمد. اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی افقی تا عمق ۴۶ سانتی‌متر به روش پیزومتر و از عمق ۴۶ تا ۱۵۰ سانتی‌متر با روش چاهک در نه تکرار انجام گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. عمق لایه غیرقابل نفوذ نیز بر اساس هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف ۱/۲ متر به‌دست آمد. میزان تخلخل قابل زهکشی در فصل کشت برنج با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده ۵٪ محاسبه شد. همچنین، برای انتخاب بهترین تیمار زهکشی در زمان زهکشی پایان‌فصل، درصد رطوبت وزنی و مقاومت فروروی خاک با استفاده از دستگاه نفوذسنج مخروطی دستی در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد.

جدول ۳- مقادیر هدایت هیدرولیکی افقی در لایه‌های مختلف بر حسب سانتی‌متر بر روز

هدایت هیدرولیکی افقی	عمق ۱۶-۰	عمق ۴۶-۱۶	عمق ۸۰-۴۶	عمق ۱۲۰-۸۰	عمق ۱۵۰-۱۲۰
میانگین	۲۷/۳۷	۰/۶	۶/۴۵	۱/۴۳	۰/۱
انحراف استاندارد	۰/۰۵۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰۲

معادلات مورد استفاده

معادلات زهکشی در حالت ماندگار و غیرماندگار (روابط ۱ تا ۱۴) برای محاسبه فاصله زهکشی در جدول ۴ خلاصه شده است. در این جدول، L (m) فاصله زهکش و K_1، K_2 و K_3 (بر حسب m/day) هدایت هیدرولیکی در لایه بالای زهکش و دو لایه خاک در زیر سطح زهکش‌ها، $D_1 = 0.5h$ (m) + فاصله از عمق زهکش از پایین لایه‌ای که زهکش‌ها در آن نصب شده‌اند، D_2 و D_3 (m) ضخامت دو لایه زیر عمق زهکش، h (m) بار هیدرولیکی ماکزیمم سطح ایستابی بالای سطح زهکش، q (m/day) دبی مورد نیاز، d (m) عمق معادل لایه زیر سطح زهکش، D_0 (m) فاصله از عمق زهکش تا لایه غیرقابل نفوذ، r_0 (m) شعاع زهکش، D_v (m) ضخامت لایه بالایی که جریان عمودی در آن بررسی می‌گردد (که در اکثر موارد این جزء کوچک بوده و می‌توان نادیده گرفت)، K_v (m/day) هدایت هیدرولیکی در جریان عمودی، D_r (m) ضخامت خاک با جریان شعاعی، $\sum(KD)_h \left(\frac{m^2}{day}\right) = K_1D_1 + K_2D_2 + K_3 D_3$ مجموع حاصل از نفوذپذیری و ضخامت لایه‌های مختلف برای بخش جریان افقی با توجه به وضعیت هیدروژئولوژیک، K_r (m/day) هدایت هیدرولیکی برای جریان شعاعی، a فاکتور هندسی برای جریان شعاعی که بستگی به موقعیت هیدرولیکی دارد، u (m) بخش خیس‌شده زهکش (متر) (برای لوله‌های زهکش $u = \pi r_0$ می‌باشد)، t (day) زمان بعد از بالا آمدن لحظه‌ای سطح ایستابی، μ فضای منافذ قابل زهکشی، h_0 و h_t (m) بار سطح ایستابی در وسط فاصله زهکش در زمان صفر و t، $R_{\Delta t}$ (m/day) مقدار متوسط دبی تغذیه (R) در طول فاصله زمانی t_0 تا t_1 که ثابت فرض شده است، $q_{t_0(\frac{m}{day})}$ دبی زهکش‌ها در زمان t_0، $q_{t_1(\frac{m}{day})}$ دبی زهکش‌ها در زمان t_1 و α فاکتور عکس‌العمل خاک می‌باشد (اوستربان، ۲۰۰۲؛ هالباک- کوتورا- زامفیر، ۲۰۰۹).

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴- معادلات ماندگار و غیرماندگار برای محاسبه فاصله زهکش در منطقه مورد مطالعه

معادلات حالت ماندگار

معادله هوخهات:

$$q = \frac{8K_2dh+4K_1h^2}{L^2} \quad (۱)$$

معادله کرکهام:

$$h = \frac{ql}{K_2} \times \frac{1}{1-\frac{q}{K_1}} F\left(\frac{D_0}{2r_0}, \frac{L}{D_0}\right) \quad (۲)$$

معادله داگان:

$$h = \frac{ql}{4K}\left[\frac{L}{2D_0} - \frac{2}{\pi}\ln 2\left(\cosh\frac{\pi r_0}{D_0} - 1\right)\right] \quad (۳)$$

معادله ارنست:

$$h = q\frac{D_v}{K_v} + q\frac{L^2}{8\sum(KD)_h} + q\frac{L}{\pi K_r}\ln\frac{aD_r}{u} \quad (۴)$$

معادله هوخهات- ارنست:

$$L^2 + \frac{8L}{\pi}\frac{K_2D_2+K_3D_3}{K_2}\ln\frac{aD_2}{u} - \frac{8\sum KDh}{q} = 0 \quad (۵)$$

معادله اگینو- موراشیما:

$$L = 2H\sqrt{\frac{86.4\times K}{q}} \quad (۶)$$

H عمق لایه شخم که از ۱۰-۲۰ سانتی‌متر متغیر است.

معادله دلاکرویکس:

$$L = \frac{2(H_u-H-H_1)}{\tan\beta} \quad (۷)$$

$$\tan\beta = \frac{0.09+0.0175\times10^5\times K}{1+1.12\times10^5\times K} \quad (۸)$$

$$H = \frac{0.5+1.01\times10^5\times K}{1+1.12\times10^5\times K} \quad (۹)$$

$$H_1 = \frac{0.35+0.16\times10^5\times K}{1+1.47\times10^5\times K} \quad (۱۰)$$

H_u: فاصله عمودی بین زهکش‌های جانبی تا سطح زمین (متر)، H: فاصله بین سطوح ایستابی تا سطح زمین در وسط بین دو زهکش (متر)، H_1 فاصله عمودی بین زهکش و سطح ایستابی واقع در بالای زهکش (متر)

معادلات حالت غیرماندگار

معادله گلوور- دام:

$$L = \pi\left|\frac{\frac{KdT}{\mu}}{ln\frac{4h_0}{\pi h_t}}\right|^{\frac{1}{2}} \quad (۱۱)$$

معادله ترکیبی باور و ون‌شلیفگارد با معادله هوخهات:

$$L^2 = \frac{10Ktd}{\mu}\left[\ln\frac{h_0(2d+h_t)}{h_t(2d+h_0)}\right]^{-1} \quad (۱۲)$$

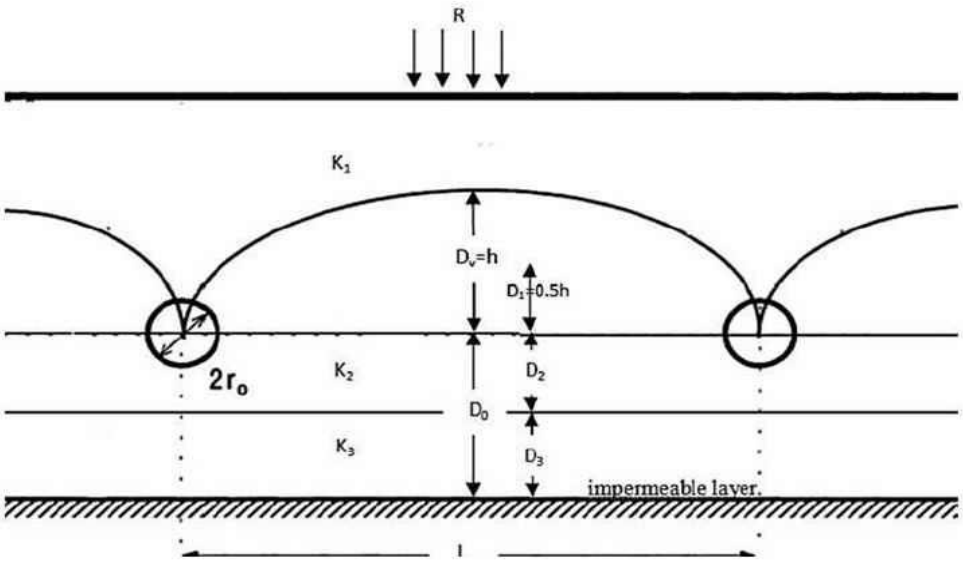
معادله دزو و هلینگا:

$$h_{t1} = h_{t0}e^{-\propto\Delta t} + \frac{R_{\Delta t}}{0.8\mu\alpha} \times (1 - e^{-\propto\Delta t}) \quad (۱۳)$$

$$q_{t1} = q_{t0}e^{-\propto\Delta t} + R_{\Delta t} \times (1 - e^{-\propto\Delta t}) \quad (۱۴)$$

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۲- شمایی از سیستم زهکشی زیرزمینی، بیانگر نمادهای مختلف مرتبط با معادلات

همچنین شمایی از سیستم زهکشی زیرزمینی که نمادهای مختلف مرتبط با معادلات ماندگار و غیرماندگار را نشان می‌دهد در شکل ۲ آورده شده است (بای بوردی، ۱۳۷۸). با استفاده از داده‌های سطح ایستابی، دبی خروجی و سایر داده‌های اندازه‌گیری شده، فاصله زهکش‌ها با استفاده از معادلات ماندگار و غیرماندگار فوق‌الذکر برای تیمارهای مورد مطالعه در مرحله زهکشی میان‌فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج محاسبه شد و با فاصله واقعی مقایسه گردید. در نهایت، معادله مناسب جهت تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در دو مرحله زهکشی میان-فصل و پایان‌فصل (زهکشی در زمان برداشت برنج) معرفی گردید.

نتایج و بحث

نوسانات سطح ایستابی در طول دوره رشد برنج در تیمارهای مورد مطالعه در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، عمق سطح ایستابی بعد از گذشت نه روز از شروع زهکشی میان‌فصل در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$، $L_{15}D_1$، زهکش سطحی و شاهد به‌ترتیب به ۴۵، ۴۳، ۲۶، ۵۲، ۳۶/۴، ۲۴، ۳۰ و ۱۳ سانتی‌متر رسید. این در حالی است که درزی و همکاران (۱۳۹۱ ب) در مطالعات خود، عمق سطح ایستابی را در تیمارهای $L_{15}D_{0.65}$، $L_{30}D_{0.65}$، $L_{30}D_{0.9}$، زهکش دو عمقی و شاهد، بعد از گذشت هفت روز زهکشی میان‌فصل به‌ترتیب ۴۸، ۳۹، ۴۰، ۴۸ و ۹ سانتی‌متر گزارش نمودند که دلیل افت بیشتر سطح ایستابی در تیمارهایی با فاصله ۱۵ و ۳۰ متر در منطقه مورد مطالعه در استان مازندران می‌تواند سبک‌تر بودن بافت خاک آن منطقه نسبت به منطقه مورد مطالعه در استان گیلان باشد. با این که افت سطح ایستابی در مطالعه درزی و همکاران (۱۳۹۱ ب) بیش از این مطالعه است، اما ترک‌خوردگی خاک منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر بسیار بیشتر است. در مطالعات پیشین، دهقانی و همکاران (۱۳۹۴) نشان دادند که در تداوم زهکشی ۱۳ روز ترک‌هایی با عرض هفت میلی‌متر در سطح خاک به‌وجود آمد. در حالی که در پژوهش حاضر، بعد از گذشت نه روز، در تیمارهایی با فاصله زهکش ۷/۵ و ۱۰ متر ترک‌هایی با عرض ۲/۵ سانتی-متر پدیدار شد که بسته شدن این ترک‌ها زمان زیادی نیاز دارد و در مواردی تنها به‌وسیله شخم سطحی از بین می-روند. عمق سطح ایستابی مطلوب در مرحله زهکشی میان-فصل ۲۰-۲۵ سانتی‌متر می‌باشد که با افت بیشتر سطح

Archive of SID

www.SID.ir

ایستابی، ترک‌های برگشت‌ناپذیر در سطح خاک ظاهر می‌گردند که حتی با آبیاری‌های بعدی نیز بسته نمی‌شوند (ایشیگورو، ۱۹۹۲؛ تونگ و همکاران، ۱۹۹٦؛ اسلام و همکاران، ۲۰۰۳؛ علیزاده، ۱۳۸۹؛ یزدانی و همکاران، ۱۳۹۳). به‌طوری که در این شرایط، کنترل درز و ترک در خاک دشوار می‌باشد. بنابراین، پایین آوردن عمق سطح ایستابی به بیش از ۲۵ سانتی‌متر مناسب نمی‌باشد که این عمق مطلوب در مرحله زهکشی میان‌فصل توسط تیمارهایی با فاصله زهکش ۱۵ متر ایجاد شده است. شدت زهکشی در مرحله میان‌فصل در تمامی تیمارها بعد از ٢٤ ساعت تقریباً به صفر رسید و همچنین در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج، لوله‌های زهکش زه‌آب خروجی نداشتند که نتایج به‌صورت کامل‌تر در مقاله علیزاده و همکاران (۱۳۹۵ الف) ارائه شده است. نتایج مطالعات محققین نشان داده که زهکشی میان‌فصل به‌وسیله خارج نمودن خاک از حالت اشباع و ایجاد شرایط هوازی و خارج نمودن مواد سمی از منطقه توسعه ریشه باعث افزایش عملکرد نسبت به حالت بدون زهکشی می‌گردد (کیا، ۱۳۸۲؛ درزی و همکاران، ۱۳۹۱ ب؛ دهقانی و همکاران، ۱۳۹۳؛ چاکانی و همکاران، ۱۳۹٤). با توجه به ایجاد درز و ترک و کاهش عملکرد در تیمارهایی با فاصله ۷/۵ و ۱۰ متر به‌دلیل جریان ترجیحی در این تیمارها، فاصله زهکش‌های ۱۵ متر بیشترین عملکرد را به‌دست می‌دهد (چاکانی، ۱۳۹٤؛ علیزاده، ۱۳۹۵).

با توجه به عمق سطح ایستابی در تیمارهای مورد مطالعه در مرحله زهکشی میان‌فصل و عدم معنی‌داری عملکرد برنج در فواصل مختلف زهکش‌های زیرزمینی (علیزاده، ۱۳۹۵)، تیمار زهکشی زیرزمینی با فاصله ۱۵ متر به‌عنوان فاصله مناسب جهت زهکشی میان‌فصل در این منطقه قابل توصیه است. همچنین، با توجه به عدم تفاوت عمق سطح ایستابی بین تیمارهای $L_{15}D_{0.8}$ و $L_{15}D_{1}$ در مرحله زهکشی میان‌فصل، عمق ۸۰ سانتی‌متر برای قرارگیری لوله‌های زهکش زیرزمینی در مرحله زهکشی میان‌فصل به‌عنوان عمق مناسب زهکش انتخاب شد.

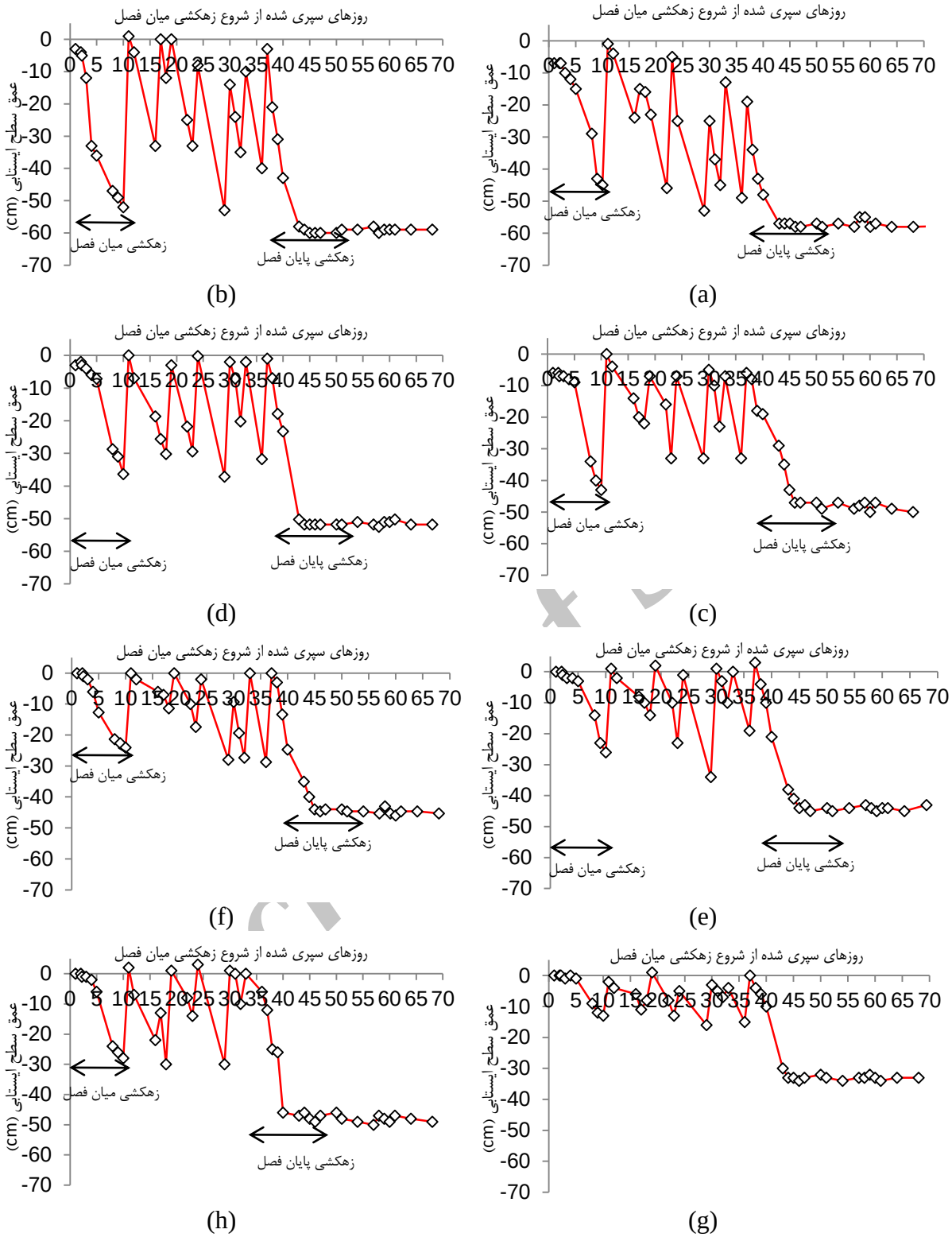
بررسی تأثیر عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر مقاومت فروروی و رطوبت وزنی در زمان برداشت برنج

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۵) نشان می‌دهد که تأثیر فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر مقاومت فروروی تا عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر در زمان برداشت برنج معنی‌دار نیست. در حالی که تأثیر عمق زهکش‌های زیرزمینی بر مقاومت فروروی تا عمق‌های ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر در زمان برداشت برنج در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار شد. همچنین، اثر متقابل فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی بر مقاومت فروروی تا عمق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر در زمان برداشت برنج در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار گردید. تأثیر فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر رطوبت وزنی در زمان برداشت برنج در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار شد. اما فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی بر رطوبت وزنی در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر تأثیر معنی‌داری نداشت. به‌عبارتی می‌توان نتیجه گرفت که زهکش‌های زیرزمینی روی رطوبت لایه‌های سطحی تأثیر گذاشته و تأثیری بر رطوبت لایه‌های زیرین خاک ندارند.

مقایسه میانگین اثر فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی بر مقاومت فروروی در زمان برداشت برنج (جدول ٦) نشان می‌دهد که تیمار زهکشی زیرزمینی با فاصله ۱۰ متر باعث افزایش ۱۳ درصدی در میزان مقاومت فروروی تا عمق ۱۵ سانتی‌متر در زمان برداشت برنج نسبت به شاهد (مقاومت به نفوذ پنترومتر تا عمق ۱۵ سانتی‌متر ۷۵۰ کیلوپاسکال) شد. این در حالی است که مقدار مقاومت فروروی تا عمق ۳۰ سانتی‌متری در تیمارهای زهکشی زیزمینی با فاصله ۱۰ متر نسبت به شاهد ۹۳ درصد افزایش پیدا کرد (مقاومت به نفوذ پنترومتر تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در شاهد ۷۲۰ کیلوپاسکال). به‌عبارتی، زهکشی زیرزمینی بیشترین تأثیر خود را بر مقاومت فروروی لایه زیرین گذاشته است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- نوسانات عمق سطح ایستابی در فصل کشت برنج در تیمارهای مورد مطالعه: a) $L_{7.5}D_{0.8}$، b) $L_{7.5}D_1$، c) $L_{10}D_{0.8}$، d) $L_{10}D_1$، e) $L_{15}D_{0.8}$، f) $L_{15}D_1$، g) شاهد و h) زهکش سطحی

www.SID.ir

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر فاصله و عمق زهکش‌ها در زمان برداشت برنج بر مقاومت فروروی و رطوبت وزنی

منبع تغییرات	تکرار	مقاومت فروروی تا عمق ۱۵سانتی‌متر در زمان برداشت برنج	مقاومت فروروی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در انتهای فصل کشت برنج	رطوبت وزنی در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر در زمان برداشت برنج	رطوبت وزنی در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در زمان برداشت برنج
تکرار	۲	۱۰۹۳/۰۵ ns	۲۴۶۸۷/۵۰ *	۰/۰۰۱۶ ns	۰/۰۰۵۴ ns
فاصله زهکش	۲	۲۱۴۳/۰۵ ns	۹۶۱۲/۵۰ ns	۰/۰۱۵۵ **	۰/۰۰۳۴ ns
عمق زهکش	۱	۶۶۰۰۵/۵۵ **	۴۹۵۰۱۲/۵۰ **	۰/۰۰۱۸ ns	۰/۰۰۰۲ ns
فاصله زهکش × عمق زهکش	۲	۶۸۲۱۸/۰۵ **	۷۲۹۱۲/۵۰ **	۰/۰۰۱۰ ns	۰/۰۰۱۴ ns
خطا	۱۰	۵۶۳۸/۰۵	۴۱۶۷/۵۰	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۱۴

**، *، ns به‌ترتیب معنی‌داری در سطوح یک و پنج درصد و غیرمعنی‌دار

مقایسه میانگین مقدار رطوبت وزنی در جدول ٦ نشان داد که بیشترین رطوبت لایه سطحی (۰/۲۹) متعلق به تیمار زهکش‌های زیرزمینی با فاصله ۱۵ متر و کمترین رطوبت وزنی لایه سطحی (۰/۲) متعلق به تیمار زهکش های زیرزمینی با فاصله ۷/۵ متر بود. به‌طوری که تفاوت معنی‌داری بین فاصله‌های زهکش ۷/۵ و ۱۰ متر بر رطوبت وزنی لایه سطحی مشاهده نشد. زهکش‌های زیرزمینی با فاصله ۱۰ متر باعث کاهش ۱۳ درصدی میزان رطوبت وزنی لایه سطحی در زمان برداشت برنج نسبت به شاهد (۰/۳٤) گردیدند. همچنین، جدول ٦ نشان می‌دهد که رطوبت وزنی لایه ٦۰-۳۰ سانتی‌متر بین فواصل مختلف لوله‌های زهکش زیرزمینی اختلاف معنی‌داری نداشته است؛ اما زهکش‌های زیرزمینی میزان رطوبت وزنی را نسبت به شاهد (۰/۳٤ در عمق ٦۰-۳۰ سانتی‌متر) ۱۳٪ کاهش داده‌اند. در نهایت، با توجه به میزان مقاومت به نفوذ پنترومتر لایه سطحی و رطوبت لایه سطحی و زیرزین در زمان برداشت برنج، تیمار زهکش زیرزمینی با فاصله ۱۰ متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر (به‌دلیل بیشترین مقاومت به نفوذ و کمترین رطوبت وزنی) به‌عنوان بهترین تیمار زهکشی در زمان برداشت برنج توصیه می‌گردد.

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر فاصله و عمق زهکش‌ها در زمان برداشت برنج بر مقاومت فروروی و رطوبت وزنی خاک

پارامترها	فاصله زهکش‌ها			عمق زهکش‌ها	
	۷/۵ متر	۱۰ متر	۱۵ متر	۸۰ سانتی‌متر	۱۰۰ سانتی‌متر
مقاومت فروروی تا عمق ۱۵ سانتی‌متر در انتهای فصل کشت برنج	۸۱۷ a	۸۴۵ a	۸۱۰ a	۸۸۵/۰۰ a	۷۶۳/۸۹ b
مقاومت فروروی تا عمق ۳۰ سانتی‌متر در انتهای فصل کشت برنج	۱۳۵۷ a	۱۳۹۵ a	۱۳۱۵ a	۱۱۹۰/۰۰ b	۱۵۲۱/۶۷ a
رطوبت وزنی در عمق ۳۰- ۰ سانتی‌متر در انتهای فصل کشت برنج	۰/۲۰ b	۰/۲۱ b	۰/۲۹ a	۰/۲۴ a	۰/۲۲ a
رطوبت وزنی در عمق ۶۰-۳۰ سانتی‌متر در انتهای فصل کشت برنج	۰/۲۱ a	۰/۲۱ a	۰/۲۵ a	۰/۲۲ a	۰/۲۲ a

تفاوت اعدادی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار نیست

فواصل محاسبه شده توسط معادلات زهکشی در مراحل زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل

فاصله زهکش‌ها در مرحله زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در تیمارهای مختلف با استفاده از معادلات ماندگار و غیرماندگار محاسبه شد و نتایج آن در جدول ۷ ارائه گردید. با توجه به این جدول درمی‌یابیم که با افزایش فاصله زهکش‌ها، از دقت معادله هوخهات در برآورد فاصله زهکش در مرحله زهکشی میان‌فصل کاسته می‌شود. درصورتی که در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج (زهکشی پایان‌فصل) انحراف فاصله برآورد شده توسط معادله هوخهات از فاصله واقعی در مرحله زهکشی در

Archive of SID

www.SID.ir

تیمارهایی با فاصله‌های مختلف با هم تفاوت چندانی ندارد. هالباک- کوتورا- زامفیر (۲۰۰۹) فاصله زهکش را در منطقه مورد مطالعه خود با استفاده از معادله هوخهات در محدوده ٤- ۱۳ متر گزارش نمود که نتایج ایشان به نتایج حاصل از این مطالعه نزدیک است. معادله داگان در مرحله زهکشی میان‌فصل، فاصله زهکش‌ها را در تمامی تیمارها تقریباً با انحراف مشابهی برآورد نموده است؛ اما در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج، فاصله زهکش‌ها با استفاده از معادله داگان در تیمارهایی با فاصله ۱۵ متر با انحراف کمتری نسبت به فاصله ۷/۵ و ۱۰ متر برآورد شد. دقت فاصله برآوردشده توسط معادله اگینو- موراشیما در مرحله زهکشی میان‌فصل بیشتر از زهکشی در زمان برداشت برنج است.

فواصل برآورد شده توسط معادله دلاکرویکس در مرحله زهکشی میان‌فصل و زهکشی در زمان برداشت برنج بیشترین انحراف از فاصله واقعی را نسبت به سایر معادلات داشت، همچنین، از نتایج ارائه شده در می‌یابیم که دقت معادله دلاکرویکس در هر دو مرحله زهکشی با افزایش فاصله و عمق زهکش کاهش یافته است. معادله کرکهام در تمامی تیمارهای مورد مطالعه در هر دو مرحله زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل، فاصله زهکش‌های زیرزمینی را کمتر از میزان واقعی برآورد نمود که نتایج پژوهش حاضر با مطالعات دجورویچ و استریچویچ (۲۰۰۳) همخوانی دارد. همچنین، فواصل برآورد شده توسط معادله کرکهام در مرحله زهکشی میان‌فصل در تیمارهای زهکش زیرزمینی با فاصله ۱۵ متر نسبت به تیمارهای زهکش زیرزمینی با فاصله ۷/۵ و ۱۰ متر دارای انحراف بیشتری از فاصله واقعی می‌باشد. معادله ارنست و هوخهات- ارنست در مرحله زهکشی میان‌فصل در تیمارهایی با فاصله ۱۰ و ۱۵ متر، فاصله زهکش‌ها را با انحراف بیشتری نسبت به تیمار با فاصله زهکش ۷/۵ برآورد می‌نماید. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج، معادله ارنست و هوخهات- ارنست در تیمارهایی با عمق زهکش ۸۰ سانتی‌متر، فاصله زهکش‌های زیرزمینی را با انحراف کمتری نسبت به تیمار با عمق زهکش ۱۰۰ سانتی‌متری برآورد نموده است. فاصله برآورد شده توسط معادله گلوور- دام و معادله دزو و هلینگا در هر دو مرحله زهکشی در تیمارهای با فاصله ۷/۵ متر نسبت به تیمارهایی با فاصله ۱۰ و ۱۵ متر با انحراف کمتری نسبت به فاصله واقعی به‌دست آمده است. معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات در هر دو مرحله زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در تمامی تیمارها فاصله زهکش‌های زیرزمینی را با دقت قابل قبولی برآورد نموده است.

انتخاب معادلات مناسب جهت به‌دست آوردن فاصله زهکش در مراحل زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل

از آنجایی‌که زهکش‌ها با فاصله ۱۵ متر و عمق ۰/۸ متر به‌عنوان فاصله مناسب جهت زهکشی میان‌فصل انتخاب شدند، بنابراین معادله‌ای که فاصله زهکش‌ها را با کمترین انحراف نسبت به این تیمار برآورد کند به‌عنوان معادله مناسب در مرحله زهکشی میان‌فصل می‌باشد. از بین معادلات ماندگار، معادله داگان و هوخهات و از بین معادلات غیرماندگار معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان فرمول مناسب جهت تعیین فاصله زهکش‌ها در مرحله زهکشی میان‌فصل به‌دست آمد. همچنین، در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج، زهکش‌های زیرزمینی با فاصله ۱۰ متر و عمق ۰/۸ متر به عنوان فاصله و عمق مناسب انتخاب شد (به‌دلیل درصد رطوبت کمتر و مقاومت به نفوذ سطحی بیشتر در زمان برداشت برنج). بنابراین معادله‌ای که فاصله زهکش‌های زیرزمینی را با کمترین انحراف نسبت به تیمار $L_{10}D_{0.8}$ برآورد کند به‌عنوان معادله مناسب در مرحله زهکشی پایان‌فصل می‌باشد. به‌طوری که از بین معادلات ماندگار، معادله هوخهات، کرکهام و داگان و از بین معادلات غیرماندگار، معادله گلوور- دام و معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان فرمول مناسب جهت تعیین فاصله زهکش‌ها در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج انتخاب شدند.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۷- فواصل محاسبه شده توسط معادلات زهکشی در مرحله زهکشی میان‌فصل در تیمارهای مورد مطالعه

مرحله زهکشی	معادلات زهکش	$L_{7.5}D_{0.8}$	$L_{10}D_{0.8}$	$L_{15}D_{0.8}$	$L_{7.5}D_1$	$L_{10}D_1$	$L_{15}D_1$
زهکشی میان‌فصل در دوره کشت شالی	معادله هوخهات	۸/۶۵	۱۱/۶۰	۱۷/۹۰	۵/۹۲	۱۲/۸۸	۲۰/۳۸
	معادله داگان	۹/۱۹	۱۲/۱۷	۱۶/۲۹	۴/۶۷	۹/۰۱	۱۳/۲۷
	معادله اگینو موراشیما	۱۴/۰۲	۱۷/۹۰	۲۲/۵۴	۸/۲۸	۱۳/۸۳	۱۸/۹۶
	معادله دلاکرویکس	۱۸/۲۳	۱۹/۸۹	۳۳/۹۹	۲۹/۰۲	۴۱/۹۶	۵۰/۵۹
	معادله کرکهام	۴/۴	۵/۸	۷/۶	۲/۳	۴/۸	۶/۴
	معادله ارنست	۱۲/۹۷	۱۸/۴۵	۲۵/۷۹	۱۱/۷۶	۲۳/۳۰	۳۴/۰۴
	معادله ارنست- هوخهات	۱۶/۱۶	۲۱/۳۳	۲۸/۴۷	۱۱/۴۳	۲۱/۹۸	۳۲/۵۰
	معادله گلوور- دام	۶/۵۸	۶/۷۶	۸/۵۱	۴/۹۹	۶/۱۰	۶/۸۷
	معادله ترکیبی باور و ون‌شلیفگارد با معادله هوخهات	۹/۵۹	۹/۹۵	۱۳/۹۶	۹/۱۰	۱۲/۳۰	۱۵/۰۳
	معادله دزو و هلینگا	۴/۱۸	۴/۲۹	۵/۲۴	۳/۵۷	۴/۱۸	۴/۵۴
زهکشی به منظور برداشت برنج (زهکشی پایان-فصل)	معادله هوخهات	۹/۲۴	۱۲/۳۴	۱۳/۷۱	۱۳/۴۱	۱۵/۹۲	۱۸/۱۳
	معادله داگان	۱۱/۶۱	۱۳/۸۴	۱۴/۷۳	۱۱/۴۱	۱۲/۵۰	۱۳/۳۸
	معادله اگینو موراشیما	۱۹/۲۰	۲۲/۱۷	۲۷/۱۵	۱۹/۲۰	۲۲/۱۷	۲۷/۱۵
	معادله دلاکرویکس	۷/۴۴	۱۴/۹۰	۱۸/۲۲	۲۲/۳۷	۲۹/۱۸	۳۵/۱۶
	معادله کرکهام	۵/۶۰	۷/۰۰	۷/۲	۵/۳	۵/۷	۶/۴
	معادله ارنست	۱۷/۴۶	۱۷/۴۸	۱۹/۳۷	۲۵/۹۵	۲۹/۰۱	۳۱/۴۶
	معادله ارنست- هوخهات	۲۰/۳۵	۲۴/۲۲	۲۵/۷۶	۲۷/۹۳	۳۰/۶۶	۳۲/۸۷
	معادله گلوور- دام	۸/۰۶	۸/۶۶	۹/۰۵	۶/۳۱	۶/۹۰	۷/۴۸
	معادله ترکیبی باور و ون‌شلیفگارد با معادله هوخهات	۱۰/۷۴	۱۲/۲۲	۱۳/۰۵	۱۰/۹۹	۱۲/۵۹	۱۴/۲۴
	معادله دزو و هلینگا	۶/۷۵	۶/۹۲	۸/۴۸	۵/۵۱	۶/۵۲	۷/۱۶

بررسی کارایی فاصله و عمق‌های مختلف زهکش‌های زیرزمینی در کنترل سطح ایستابی و همچنین دقت معادلات ماندگار و غیرماندگار در دو مرحله زهکشی میان‌فصل و پایان‌فصل در اراضی شالیزاری گیلان نشان داد که زهکش زیرزمینی با فاصله ۱۵ متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر (به‌دلیل ایجاد عمق سطح ایستابی مناسب و عملکرد بیشتر) در مرحله زهکشی میان‌فصل و زهکش با فاصله ۱۰ متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر (به‌دلیل بالاترین مقاومت به نفوذ و کمترین رطوبت وزنی) به‌عنوان بهترین تیمار زهکشی در زمان برداشت برنج توصیه می‌گردد. معادله داگان، هوخهات و معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان معادلات مناسب جهت تعیین فاصله زهکش‌ها در مرحله زهکشی میان‌فصل به‌دست آمد. همچنین در مرحله زهکشی در زمان برداشت برنج، معادله هوخهات، کرکهام، داگان، گلوور- دام و معادله ترکیبی باور و ون‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان فرمول مناسب جهت تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی انتخاب شد.

تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات برنج کشور به‌دلیل فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

فهرست منابع

۱. بای بوردی، م.، ۱۳۷۸. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه تهران، ٦٤١ صفحه.

Archive of SID

www.SID.ir

۲. پلنگی، م.، ن. پیرمرادیان، و. کریمی و ب. امیری لاریجانی. ۱۳۹۳. تأثیر زهکشی سطحی میان‌فصل بر روند رشد، شاخص‌های فیزیولوژیک و عملکرد برنج رقم طارم هاشمی. مجله تحقیقات غلات،٤(٤): ٢٦٧-٢٧٨.

۳. چاکانی، پ. ۱۳۹٤. اثر زهکشی سطحی و زیرزمینی میان‌فصل بر خصوصیات خاک و عملکرد برنج رقم هاشمی در منطقه رشت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه گیلان، ۷۱ صفحه.

٤. چاکانی، پ.، پیرمرادیان، ن.، یزدانی، م. ر و م. نوایبان. ۱۳۹٤. اثر متقابل تداوم زهکشی و فاصله زهکش‌های زیرزمینی در زهکشی میان‌فصل بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج رقم هاشمی. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. ٤٦(٤): ٧٠٧-٧١٤.

۵. درزی نفت‌چالی، ع.، م .میرلطیفی، ع .شاهنظری، ف .اجلالی و م .مهدیان. ۱۳۹۱ الف. تأثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر تلفات فسفر اراضی شا لیزاری در فصل کشت برنج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ٦(۳): ۲۲۵-۲۱۵.

٦. درزی، ع.، میرلطیفی، س. م.، شاهنظری، ع.، اجلالی، ف و م. ح. مهدیان. ۱۳۹۱ب. تأثیر زهکشی سطحی و زیرزمینی بر عملکرد برنج و اجزای آن در اراضی شالیزاری. پژوهش آب در کشاورزی. ٢٦(١): ٦١-٧٠.

۷. دهقانی، ن. ۱۳۹۳. ارزیابی اثر زهکشی میان‌فصل بر تحمل‌پذیری خاک در زمان برداشت و بهره‌وری آب برنج (Oryza sativa L.) رقم طارم هاشمی. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، ۹۳ صفحه.

۸. دهقانی، ن.، ن .پیرمرادیان، و .کریمی و م .نوابیان. ۱۳۹٤. تأثیر زهکشی سطحی میان‌فصل بر مشخصات ترک‌های ایجاد شده در خاک سطحی مزارع شالیزاری. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۲(٦): ۲۵۹ تا ۲۷۰.

۹. علیزاده، م. ۱۳۸۹. بررسی تأثیر توامان مواد آلی و زئولیت روی خصوصیات هیدرولیکی خاک و جلوگیری از بروز درز و ترک در آبیاری غرقابی تناوبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران، ۱۰٤ صفحه.

۱۰. علیزاده، م. ۱۳۹۵. مقایسه معادلات زهکشی برای تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: اراضی مؤسسه تحقیقات برنج کشور). پایان‌نامه دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل، ١٦٣ صفحه.

۱۱. علیزاده، م.، افراسیاب، پ.، یزدانی، م. ر.، لیاقت، ع و م، دلبری. ۱۳۹۵ الف. تأثیر عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی بر شدت زهکشی اراضی شالیزاری (مطالعه موردی: اراضی مؤسسه تحقیقات برنج کشور). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳(٤): ۲۱۹-۲۳۳.

۱۲. علیزاده، م.، افراسیاب، پ.، یزدانی، م. ر.، لیاقت، ع و م، دلبری. ۱۳۹۵ب. ارزیابی اثر فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری، به‌منظور توسعه کشت دوم در یک مزرعه نمونه در گیلان. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰(۲): ۱۵۹- ۱۷۲.

۱۳. کیا، ع. ۱۳۸۲. زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری .انتشارات مرکز توسعه منابع انسانی کشاورزی هراز. صفحه ۸۷.

۱٤. یزدانی، م. ر.، پارسی‌نژاد، م.، سپاسخواه، ع.، دواتگر، ن. و ش، عراقی‌نژاد. ۱۳۹۳. بررسی عوامل مؤثر بر رفتار ترک‌پذیری خاک‌های شالیزاری (مطالعه موردی استان گیلان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ٦٩: ٤٧-٥٨.

Archive of SID

www.SID.ir

15. Darzi, A., Mirlatifi, S. M. and A. Asgari. 2014. Comparison of steady and unsteady state drainage equations for determination of subsurface drain spacing in paddy fields: A case study in northern Iran. *Paddy and Water Environment Journal*. 12(1): 103-111.
16. Djurović. N and R. Stričević. 2003. Some properties of Kirkham's method for drain spacing determination in Marshy - Gley soil. *Journal of Agricultural Sciences*. 48(1): 59-67.
17. Jafari Talukolaee, M., A. Shahnazari, M. Ahmadi and A. Darzi Naftchali. 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): 171–176.
18. Hălbac-Cotoară-Zamfir, R. 2009. Results obtained in drainage arrangements design by using drain- space application. *Research Journal of Agricultural Science*. 41(1): 426-431.
19. Ishiguro, M. 1992. Effects of shrinkage and swelling of soils on water management in paddy fields. *Journal of Soil and Water Engineering for Paddy Field Management*. 258-267.
20. Islam, M. J., G. Mowla, M. S. Islam and P. B Leeds-Harrison. 2003. Model for efficient use of limited water for rice production. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 6(18): 1600-1607.
21. Kumar, R., Bhakar, S .R. and P. K. Singh. 2013. Evaluation of hydraulic characteristics and management strategies of subsurface drainage system in Indira Gandhi Canal Command. *Agriculture Engineering International: CIGR Journal*. 15(2): 1-9.
22. Mathew, E. K., R .K. Panda and M. Nair. 2001. Influence of subsurface drainage on crop production and soil quality in a low-lying acid sulphate soil. *Journal of Agricultural Water Management*. 47(3): 191-209.
23. Oosterbaan, R J., 2002. Drainage research in farmer fields: Analysis of data. Part of project ''Liquid Gold'' of the International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Wageningen, The Netherlands.
24. Pali, A. K., Katre, P and D. Khalkho. 2014. An unsteady subsurface drainage equation incorporating variability of soil drainage properties. *Journal of Water Resources Management*. 28(9): 2639–2653.
25. Peng, Sh., He, Y., Yang, Sh and J. Xu. 2015. Effect of controlled irrigation and drainage on nitrogen leaching losses from paddy fields. *Journal of Paddy and Water Environment.* 13(4): 303–312.
26. Rahman, S. M., K. Kakuda, Y. Sasaki, and H. Ando. 2013. Effect of mid-drainage on root physiological activities, N uptake and yield of rice in north east Japan. *Journal of Agricultural Science*. 16(4): 197-206.
27. Ramesh Chandra, S. and K. Shyamsundar. 2007. Performance evaluation of subsurface drainage system under unsteady state flow conditions in coastal saline soils Of Andhra Pradesh, India. USCID Fourth International Conference. 303- 312.
28. Satyanarayana, T.V. and J. Boonstra. 2007. Subsurface drainage pilot area experiences in three irrigated project commands of Andhra Pradesh in India. *Journal of Irrigation and Drainage*. 56: 245–252.
29. Toung, T. P., R. J. Cabangon and M. C. S. Wopereis. 1996. Quantifying flow processes during land soaking of cracked rice soils. *Journal of Soil Science Society of America*. 60(3):872-879.

Archive of SID

www.SID.ir

Selection of Appropriate Depth and Spacing of Subsurface Drainage and Comparison of Some Drainage Equations in Rice Cultivation

M. Alizadeh, P. Afrasiab [1 *], M. R. Yazdani, A. Liaghat and M. Delbari

PhD graduate student of irrigation and drainage, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran.
malizadeh87@gmail.com

Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran.
peyman.afrasiab@uoz.ac.ir

Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.
smryazdany@yahoo.ca

Professor, Department of Irrigation, Natural Resources and Agriculture College, University of Tehran (Karaj),Iran.
aliaghat@ut.ac.ir

Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran.
masoomeh.delbari@uoz.ac.ir

Archive of SID

Abstract

In rice cultivation, mid-season and end-season drainage at harvest time are two important operations of water management which, respectively, increase yield and provide better conditions for harvesting rice. Due to the unique conditions of paddy fields of Guilan province, making decisions about the spacing and depth of drains and proper equation to determine the drainage spacing in paddy field requires research on the mid-season and end-season drainage. Therefore, in this research, the efficiency of drains spacing (L) and depth (D) of subsurface drainage in controlling water table and also accuracy of the steady and non-steady equations were evaluated at mid-season and end-season drainage stages in Guilan's rice fields. Drainage treatments included six conventional subsurface drainage systems with rice husk envelope including drainage system with drain depth of 0.8 m and drain spacing of 7.5 m ($L_{7.5}$ $D_{0.8}$), (L_{10} $D_{0.8}$), (L_{15} $D_{0.8}$), ($L_{7.5}$ D_1), (L_{10} D_1), and (L_{15} D_1). All drain lines were 40 m long and made of PVC corrugated pipes with a diameter of 125 mm. Results showed that subsurface drainage with spacing of 15 m and depth of 80 cm (due to the proper water table depth and higher yield) and subsurface drainage with distance of 10 m and depth of 80 cm (due to the highest resistance to pentrometer penetration and the lowest soil moisture content) are recommended as the best drainage treatment for mid-season and end-season drainage, respectively. Dagan, Hooghoudt and Bouwer & Van Schilfgaarde equations combined with Hooghoudt equation were suitable equations for determining drainage spacing at mid-season drainage stage. Hooghoudt, Kirkham, Dagan, Bouwer & Van Schilfgaarde equations combined with Hooghoudt equation and Glover-Dumm equation were selected as suitable formulas for determining the spacing of subsurface drains for end-season drainage.

Keywords: Paddy Field, Mid-season and end-season drainage, Drainage Equation

---

1 - Corresponding Author: Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol.
* - Received: September 2017 and Accepted: January 2018.

www.SID.ir