تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۹، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷ (ص ۶۱۷-۶۰۷) DOI: 10.22059/ijswr.2017.234501.667690

تعیین فواصل زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای در اراضی شالیزاری استان گیلان

مریم علیزاده[1*]، پیمان افراسیاب[2]، محمدرضا یزدانی[3]، عبدالمجید لیاقت[4]، معصومه دلبری[5]

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

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

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

۴. استاد گروه آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

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

(تاریخ دریافت: ۱۱/ ۳/ ۱۳۹۶- تاریخ بازنگری: ۲۸/ ۶/ ۱۳۹۶- تاریخ تصویب: ۸/ ۹/ ۱۳۹۶)

چکیده

زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری به‌منظور زهکشی میان فصل، خشک‌کردن زمین در زمان برداشت برنج و پایین آوردن سطح ایستابی پس از برداشت برنج (جهت کشت پاییزه و زمستانه) احداث می‌گردد. با توجه به اینکه اراضی شالیزاری استان گیلان (به دلیل بافت خاک سنگین، نفوذپذیری کم، بارندگی شدید و وجود لایه نفوذناپذیر کم‌عمق) از شرایط منحصر به فردی نسبت به اراضی غیر شالیزاری برخوردار می‌باشند، مطالعه و معرفی معادله‌ای که بیشترین سازگاری را با این شرایط دارد ضرورت دارد. لذا در این پژوهش کارایی معادلات ماندگار و غیر ماندگار زهکشی برای تعیین فواصل زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری به‌منظور کشت دوم پس از برداشت برنج (کشت پاییزه و زمستانه) مطالعه گردید. تیمارهای مورد مطالعه شامل شش سیستم زهکشی زیرزمینی معمولی متشکل از $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$، $L_{15}D_1$ بودند. در این مطالعه از هفت رابطه ماندگار زهکشی شامل معادلات هوخهات، کرکهام، داغان، اگینو موراشیما، دلاکرویکس، هوخهات- ارنست و ارنست و سه رابطه غیر ماندگار شامل معادلات گلور- دام، معادله ترکیبی باور- وان‌شیلفگارد با معادله هوخهات و دوزو و هلینگا استفاده گردید. از بین بارندگی‌های رخ داده در طول آزمایش، باران سه‌روزه با مقدار ۲۳/۹ میلی‌متر به دلیل نزدیکی به باران طرح برای تصمیم‌گیری در مورد بهترین معادله انتخاب گردید. معادله‌ای که فاصله زهکش‌ها را در بارندگی مذکور با کمترین انحراف نسبت به بهترین تیمار زهکشی ($L_{10}D_{0.8}$) برآورد نمود به‌عنوان بهترین معادله زهکشی انتخاب شد. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش، معادله هوخهات-ارنست از بین معادلات ماندگار و معادله ترکیبی باور- وان‌شیلفگارد با معادله هوخهات از بین معادلات غیر ماندگار فاصله زهکش‌ها را با کمترین انحراف نسبت به بهترین تیمار زهکشی برآورد نمود که به‌عنوان بهترین معادلات و معادله دلاکرویکس به‌عنوان ضعیف‌ترین معادله در طراحی زهکش‌های زیرزمینی برای اراضی شالیزاری به منظور فراهم کردن شرایط مناسب در کشت دوم معرفی گردید.

واژه‌های کلیدی: زهکشی زیرزمینی، فاصله زهکش، کشت دوم، معادلات زهکشی.

مقدمه

زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری به‌منظور زهکشی میان فصل، خشک‌کردن زمین در زمان برداشت برنج و پایین آوردن سطح ایستابی پس از برداشت برنج (جهت کشت پاییزه و زمستانه) احداث می‌گردند (Karimi *et al.*, 2007). فاصله زهکش‌ها (به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر طراحی) را می‌توان در دو حالت ماندگار و غیر ماندگار بدست آورد. در معادلات غیر ماندگار، دشواری در تعیین تخلخل قابل زهکشی، عامل محدودکننده کاربرد روابط غیر ماندگار زهکشی می‌باشد (Bybordi, 1999).

در چند دهه اخیر، کارآیی برخی از معادلات زهکشی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. فاصله زهکش‌ها در اراضی شالیزاری شرق شهرستان ساری با استفاده از معادله ماندگار هوخهات ۳۸ متر و معادله غیر ماندگار گلور- دام ۳۰ متر به‌دست آمد. در این تحقیق ضریب زهکشی ۳ میلی‌متر در روز، هدایت هیدرولیکی ۰/۶۳ متر در روز، عمق لایه غیر قابل نفوذ ۲/۷۵ متر و عمق نصب زهکش‌ها یک متر در نظر گرفته شد (Mirzaei and Pazira,1998). ارزیابی عملکرد معادلات زهکشی

* نویسنده مسئول: malizadeh87@gmail.com

Archive of SID
www.SID.ir

غیر ماندگار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت اصفهان نشان داد که معادله یانگز و حماد به‌ترتیب بهترین و ضعیف‌ترین معادله در برآورد فاصله زهکش‌های زیرزمینی می‌باشد، در این مطالعه فاصله زهکش‌ها ۳۱ متر، عمق لایه نفوذناپذیر ۳/۴ متر و عمق کارگذاری زهکش‌ها ۱/۴ متر بود. (Torabi, 1999).

به‌منظور تعیین معادله مناسب برای تعیین فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی، پژوهشی در روستای آونجان واقع در شهرستان مرودشت استان فارس اجرا شد. تیمارهای زهکشی زیرزمینی شامل فواصل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متر و طول ۱۵۰ متر در عمق ۱/۸۵ متری از سطح خاک اجرا گردید. نتایج مقایسه روش‌های تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی نشان داد که به ترتیب معادلات دام با ۱۱/۲۵ درصد و گلور با ۱۳/۸ درصد متوسط انحراف از فاصله واقعی زهکش‌های زیرزمینی، بهترین کارایی را دارا بودند (Dehghanian *et al*., 2010). ارزیابی معادله غیر ماندگار توسعه داده‌شده در خاک‌های دولایه و سه‌لایه بر پایه معادلات ارنست و هوخهات نشان داد که معادله توسعه‌یافته نسبت به معادله توکسوز و کرکهام تحت شرایط مشابه، عملکرد بالاتر و نتایج دقیق‌تری داشت (Wu and Chieng, 1991).

در پژوهشی خصوصیات روش داغان در تعیین فاصله زهکش‌ها در خاک‌های رسی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد برای خشک شدن خاک رسی بهتر است فاصله زهکش‌ها در همه تیمارها از روش داغان تعیین شود. همچنین با توجه به مقادیر کم میانگین خطای تخمین روش داغان در فواصل کوچک‌تر، توصیه شد برای فواصل کم به‌جای روش کرکهام از روش داغان استفاده شود (Djurović and Stričević, 2003b). همچنین استفاده از معادله کراجنهوف وان دلور– ماسلند برای تعیین فواصل زهکشی در شرایط غیر ماندگار نشان داد که این روش فواصل زهکشی را بزرگ‌تر از مقدار واقعی تخمین می‌زند (Djurović and Stričević, 2003a).

پژوهشی در مورد تخلیه زهکش‌ها در شرایط جریان غیر ماندگار در منطقه‌ای از کشور چک انجام شد و نتایج حاکی از رضایت‌بخش بودن دبی خروجی تخمین زده‌شده توسط معادله دوزو و هلینگا بود (Štibinger, 2009). همچنین کارایی بالای معادله گلور-دام توسط محققان زیادی گزارش شده است (RAJAD, 1995; Rawat *et al*., 2001).

با مقایسه معادلات ماندگار و غیر ماندگار در اراضی شالیزاری استان مازندران، حداقل و حداکثر فاصله زهکش‌ها (۲۶ و ۶۳ متر) به‌ترتیب از فرمول گلور- دام و ارنست بدست آمد (Darzi *et al*., 2014). همچنین مقایسه معادله جدید توسعه‌یافته در خاک‌های شور ایالت هاریانای هند با معادلات غیر ماندگار زهکشی نشان داد که معادله توسعه‌یافته، فاصله زهکش را زمانی که معیار طراحی افت سطح ایستابی ۳۰ سانتی‌متر در دو روز باشد را بسیار نزدیک به فاصله واقعی زهکش‌ها تخمین می‌زند. اما برای معیار طراحی افت سطح ایستابی در سه روز یا بیشتر، معادله گلور برتری داشت. از این رو هر دو معادله توسعه‌یافته و گلور می‌توانند به آسانی در طراحی سیستم‌های زهکشی در خاک‌های شور ایالت هاریانا هند به‌کار گرفته شوند (Pali *et al*., 2014). بررسی معادلات توسعه‌یافته غیر ماندگار زهکشی در خاک‌های ورتی‌سول[1] مصر نشان داد که معادله توسعه‌یافته، فاصله زهکش‌ها را در محدوده بین ۳۸ و ۵۴ متر برای مقادیر هدایت هیدرولیکی ۰/۱ و ۰/۵ متر بر روز محاسبه نمود (Maged Daoud, 2015).

با توجه به نتایج متفاوت تحقیقات مذکور، شرایط خاص منطقه (از نظر بافت خاک، نوع کانی رس، بارندگی، بادهای موسمی، سخت‌لایه موجود و ارقام کشت‌شده در منطقه) و تصمیم دولت برای مطالعه و احداث سیستم‌های زهکشی در اراضی شالیزاری شمال کشور، پژوهش در مورد انتخاب معادله مناسب برای تعیین فواصل زهکشی در اراضی شالیزاری به‌منظور ایجاد شرایط مناسب در کشت دوم (کشت پاییزه و زمستانه) ضروری است. بنابراین در این پژوهش کارایی معادلات ماندگار شامل معادله هوخهات، کرکهام، داغان، ارنست، هوخهات- ارنست، اگینو موراشیما و معادله دلاکرویکس و معادلات غیر ماندگار شامل معادله گلور- دام، معادله ترکیبی باور- وان شیلفگارد با معادله هوخهات و دوزو و هلینگا در برآورد فاصله زهکش‌های زیرزمینی به‌منظور کشت دوم با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای بررسی و بهترین معادله معرفی گردید.

مواد و روش‌ها

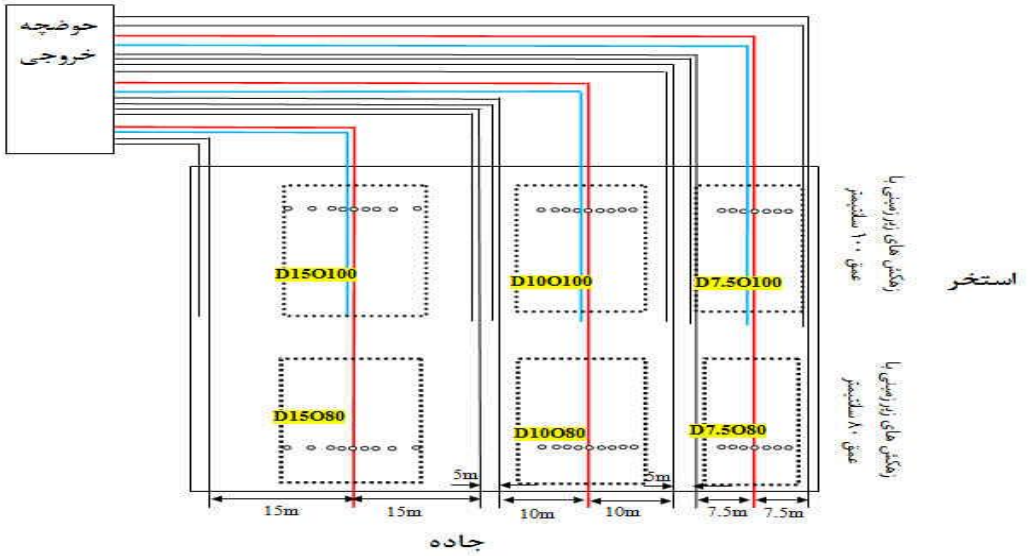
داده‌های مورد نیاز این پژوهش در سال زراعی ۱۳۹۳ از اراضی شالیزاری مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در پنج کیلومتری شهرستان رشت در استان گیلان (N ′۱۶ °۳۷ و E ′۳۶ °۴۹ و ارتفاع هفت متر پایین‌تر از سطح آب‌های آزاد) در زمینی به مساحت یک هکتار با ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر به‌دست آمد. سیستم‌های زهکش زیرزمینی در مزرعه در سال ۱۳۹۰ احداث شدند. کشت محصولات در این منطقه (کشت دوم) به‌صورت دیم است، بنابراین، فعالیت زهکش‌ها در اثر بارندگی بود. در طراحی زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری ژاپن، فاصله قرارگیری زهکش‌ها در محدوده ۷ تا ۱۵ متر می‌باشد، با توجه

1 -Vertisol

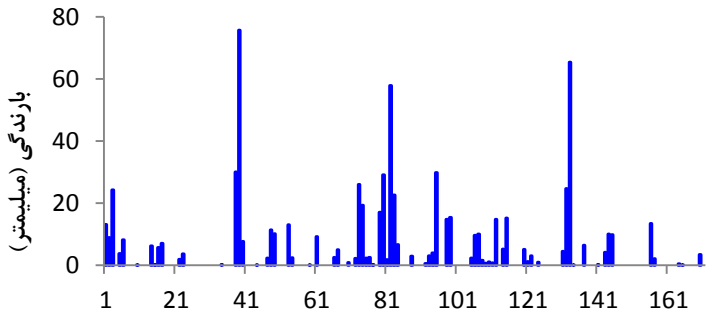
Archive of SID

www.SID.ir

به این نکته تیمارهای مورد مطالعه انتخاب شدند (MAFF, 1979; Murashima and Ogino, 1992). تیمارهای مورد مطالعه 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 ($L_{10}D_{1}$)، عمق یک متر با فاصله ۱۵ متر ($L_{15}D_{1}$) بودند. شمای مزرعه مورد مطالعه و سامانه‌های مختلف زهکشی در شکل (۱) ارائه شده است. سیستم مذکور شامل لوله‌های پی‌وی‌سی موج‌دار با قطر ۱۲۵ میلی‌متر و شیب ۰/۰۰۲ و به طول ۴۰ متر در هر تیمار بود. از پوسته برنج به‌عنوان پوشش زهکشی به ضخامت ۱۵ سانتی‌متر به دور لوله زهکش استفاده شد. انتهای هر لوله به کمک لوله‌های بدون روزنه به سمت حوضچه خروجی هدایت شد و برای هر تیمار سه خط لوله در نظر گرفته شد (دو لوله بیرونی به عنوان محافظ و لوله وسطی به عنوان زهکش اصلی). اندازه‌گیری‌ها در کرت‌های تحت پوشش لوله‌های اصلی انجام شد. خطوط اصلی زهکش با رنگ آبی و قرمز نشان داده شده است (شکل ۱). در طول مدت داده‌برداری (ابتدای آذر ۱۳۹۳ تا انتهای اردیبهشت ۱۳۹۴)، ۲۳ واقعه بارندگی با مجموع ۵۸۴ میلی‌متر بارش اتفاق افتاد (شکل ۲). خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه تا عمق ۱۲۰ سانتی‌متر در جدول (۱) ارائه شده است. در نیمه دوم سال زمین پوشیده از پوشش گیاهی متراکم معمول اراضی شالیزاری است.



شکل ۱. آرایش سامانه‌های زهکشی در مزرعه آزمایشی



شکل ۲. میزان بارندگی از تاریخ ۱۳۹۳/۹/۱۰

جدول ۱. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه در عمق‌های مختلف

عمق نمونه‌برداری (cm)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	ماده آلی (درصد)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت
۰-۱۶	۰/۴۸	۱/۶۸	۷	۴۲	۵۱	رس سیلتی
۱۶-۴۶	۰/۳۶	۰/۲۵	۱۱	۴۴	۴۵	رس سیلتی
۴۶-۸۰	۰/۳۰	۰/۳۵	۱۳	۳۲	۵۵	رسی
۸۰-۱۲۰	۰/۶۶	۰/۲۲	۵	۴۴	۵۱	رسی سیلتی

www.SID.ir

اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی عمودی با روش استوانه مضاعف انجام شد که مقدار آن برای لایه‌های ۱۶-۰، ۴۶-۱۶، ۸۰-۴۶ و ۱۲۰-۸۰ سانتی‌متر به‌ترتیب برابر 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 ۱۵۰سانتی‌متر با روش چاهک انجام گردید (جدول ۲). لایه هاردپن در عمق ۱۶ سانتی‌متر قرار دارد و ضخامت این لایه به‌طور متوسط ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد بطوری‌که مقدار هدایت هیدرولیکی عمودی و افقی این لایه به‌طور قابل توجهی کمتر از لایه‌های دیگر است. عمق لایه غیرقابل نفوذ نیز بر اساس هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف، ۱/۲ متر تعیین گردید. برای تعیین عمق سطح ایستابی در بین دو لوله زهکش از لوله‌های پولیکا سه اینچی به طول ۱/۵ متر که ۸۰ سانتی‌متر آن سوراخ‌دار بود، استفاده شد. برای جایگذاری لوله‌ها در خاک، ابتدا در نقاط موردنظر، با کمک آگر چاهکی به عمق ۱۱۰ سانتی‌متر ایجادشده و سپس لوله‌ها در آن قرار داده شدند، به‌طوری‌که ۴۰ سانتی‌متر از لوله بیرون از سطح زمین قرار گرفت و در نهایت به‌منظور جلوگیری از ورود آب سطحی به داخل چاهک، اطراف لوله‌ها به‌دقت با خاک پر شد (شکل ۳). قرائت سطح ایستابی در فصل کشت دوم از تاریخ ۹۳/۹/۱۰ تا ۹۴/۲/۲۰ در چاهک‌ها با استفاده از خط‌کش چوبی نازک ۱/۵ متری به‌صورت روزانه انجام شد. نوسانات عمق سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در تمامی تیمارها در مقاله (Alizadeh *et al*, 2016a) ارائه شده است و همچنین دبی خروجی زهکش‌ها به روش حجمی به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد که نتایج آن به‌طور کامل در مقاله (Alizadeh *et al*, 2016b) نشان داده شده است.

شکل ۳. اندازه‌گیری دبی خروجی زهکش به روش حجمی و سطح ایستابی با استفاده از چاهک

جدول ۲. مقادیر هدایت هیدرولیکی افقی در لایه‌های مختلف بر حسب سانتی‌متر بر روز

نقاط اندازه‌گیری	عمق ۱۶-۰	عمق ۴۶-۱۶	عمق ۸۰-۴۶	عمق ۱۲۰-۸۰	عمق ۱۵۰-۱۲۰
نقطه ۱	۳۲/۸	۰/۱	۵/۸	۱/۰	۰/۱
نقطه ۲	۳۳/۷	۰/۶	۷/۵	۱/۷	۰/۱۲
نقطه ۳	۲۵/۲	۰/۴	۶/۲	۱/۰	۰/۰۹
نقطه ۴	۳۲/۷	۰/۴	۴/۸	۰/۹۷	۰/۱
نقطه ۵	۲۲/۶	۰/۲۵	۶/۳	۱/۹	۰/۱۳
نقطه ۶	۲۹/۴	۰/۶	۷/۵	۱/۰	۰/۰۹
نقطه ۷	۲۷/۵	۱/۸	۶/۳	۳/۳	۰/۱۵
نقطه ۸	۲۱/۴	۰/۱	۵/۹	۱/۹	۰/۱
نقطه ۹	۲۱/۱	۱/۲	۷/۸	۱/۰	۰/۰۹
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 غیر ماندگار (روابط ۱ تا ۱۴) برای محاسبه فاصله زهکشی در جدول (۳) خلاصه شده است. در جدول (۳)، L (m) فاصله زهکش و K_1، K_2 و K_3 (m/day) به ترتیب هدایت هیدرولیکی در لایه بالای زهکش و دو لایه خاک در زیر سطح زهکش‌ها. D_1 (m) = 0.5h، 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) ضریب زهکشی، d (m) عمق معادل لایه زیر سطح زهکش، D_0 (m) فاصله از عمق زهکش تا لایه غیر قابل نفوذ، r_0 (m) شعاع

Archive of SID

www.SID.ir

زهکش، D_v (m) ضخامت لایه بالایی که جریان عمودی در آن بررسی می‌گردد (شکل ۴)، K_v (m/day) هدایت هیدرولیکی در جریان عمودی، D_r (m) ضخامت خاک با جریان شعاعی، $\sum(KD)_h \left(\frac{m^2}{day}\right) = K_1D_1 + K_2D_2 + K_3D_3$ مجموع حاصل از نفوذپذیری و ضخامت لایه‌های مختلف برای بخش جریان افقی با توجه به وضعیت هیدروژئولوژیکی، 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 آب، 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 (Singh *et al.*, 1999; Oosterbaan, 2002; Halbac-Cotoara, 2009).

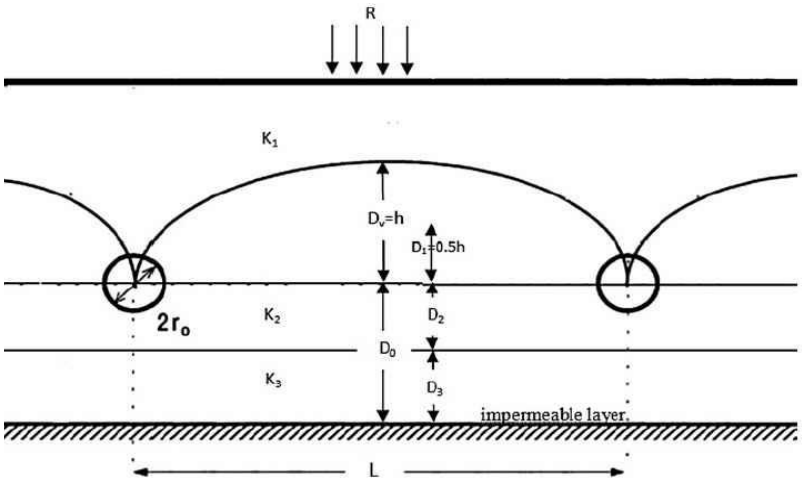
جدول ۳. معادلات ماندگار و غیر ماندگار مورد استفاده برای محاسبه فاصله زهکش

معادلات حالت ماندگار	
معادله هوخهات:	
$q = \frac{8K_2dh+4K_1h^2}{L^2}$	(۱)
معادله کرکهام:	
$h = \frac{ql}{K_2} \times \frac{1}{1-\frac{q}{K_1}} F\left(\frac{D_0}{2r_0}, \frac{L}{D_0}\right)$	(۲)
معادله داغان:	
$h = \frac{ql}{4K}\left[\frac{L}{2D_0} - \frac{2}{\pi}\ln 2\left(\cosh\frac{\pi r_0}{D_0} - 1\right)\right]$	(۳)
معادله ارنست:	
$h = q\frac{D_v}{K_v} + q\frac{L^2}{8\sum(KD)_h} + q\frac{L}{\pi K_r}\ln\frac{aD_r}{u}$	(۴)
معادله هوخهات- ارنست:	
$L^2 + \frac{8L}{\pi}\frac{K_2D_2+K_3D_3}{K_2}\ln\frac{aD_2}{u} - \frac{8\sum KDh}{q} = 0$	(۵)
معادله اگینو- موراشیما:	
$L = 2H\sqrt{\frac{86.4\times K}{q}}$	(۶)
H عمق لایه شخم که از ۱۰-۲۰ سانتی‌متر متغیر است.	
معادله دلاکرویکس:	
$L = \frac{2(H_u - H - H_1)}{\tan\beta}$	(۷)
$\tan\beta = \frac{0.09+0.0175\times10^5\times K}{1+1.12\times10^5\times K}$	(۸)
$H = \frac{0.5+1.01\times10^5\times K}{1+1.12\times10^5\times K}$	(۹)
$H_1 = \frac{0.35+0.16\times10^5\times K}{1+1.47\times10^5\times K}$	(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 غیر ماندگار	
معادله گلور- دام:	
$L = \pi\left\lvert\frac{\frac{KdT}{\mu}}{ln\frac{4h_0}{\pi h_t}}\right\rvert^{\frac{1}{2}}$	(۱۱)
معادله ترکیبی باور و وان‌شیلفگارد با معادله هوخهات:	
$L^2 = \frac{10Ktd}{\mu}\left[\ln\frac{h_0(2d+h_t)}{h_t(2d+h_0)}\right]^{-1}$	(۱۲)
معادله دوزو و هلینگا:	
$h_{t1} = h_{t0}e^{-\propto\Delta t} + \frac{R_{\Delta t}}{0.8\mu\alpha} \times (1 - e^{-\propto\Delta t})$	(۱۳)
$q_{t1} = q_{t0}e^{-\propto\Delta t} + R_{\Delta t} \times (1 - e^{-\propto\Delta t})$	(۱۴)

تخلخل قابل زهکشی با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده، ۷- ۱۲/۸ درصد به‌دست آمد که در محاسبات به‌طور

Archive of SID
www.SID.ir

متوسط ۱۰ درصد در نظر گرفته شد. همچنین شمایی از سیستم زهکشی زیرزمینی که نمادهای مختلف مرتبط با معادلات ماندگار و غیر ماندگار را نشان می‌دهد در شکل (۴) آورده شده است (Bybordi, 1999).



شکل ۴. شمایی از سیستم زهکشی زیرزمینی، بیانگر نمادهای مختلف مرتبط با معادلات

با استفاده از داده‌های سطح ایستابی و دبی خروجی که در هر بارندگی اندازه‌گیری شدند و سایر داده‌های اندازه‌گیری شده، فاصله زهکش‌ها توسط معادلات ماندگار و غیر ماندگار فوق‌الذکر برای تیمارهای مورد مطالعه در بارندگی‌های دو روزه با مقادیر ۲۰/۴ و ۳۰/۲ میلی‌متر، بارندگی سه‌روزه با مقادیر ۲۳/۹ و ۱۱۳/۴ میلی‌متر، بارندگی چهار روزه با مقادیر ۱۹/۳ و ۹۴/۷ میلی‌متر، بارندگی شش روزه با مقدار ۱۲۸/۵ میلی‌متر و بارندگی هشت‌روزه با مقدار ۴۰/۹ میلی‌متر محاسبه شد و فاصله محاسبه شده توسط معادلات با فاصله واقعی مقایسه گردید. در نهایت از بین بارندگی‌های موجود، بارندگی سه‌روزه با مقدار ۲۳/۹ میلی‌متر به دلیل نزدیکی به باران طرح برای تصمیم‌گیری در مورد بهترین معادله انتخاب گردید و معادله‌ای که فاصله زهکش‌ها را در بارندگی مذکور با کمترین انحراف نسبت به بهترین تیمار زهکشی برآورد نمود به‌عنوان بهترین معادله زهکشی معرفی شد.

نتایج و بحث

فواصل زهکش‌های زیرزمینی در فصل کشت دوم با استفاده از معادلات ماندگار و غیر ماندگار به ازای بارندگی‌های مختلف محاسبه و در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که معادله هوخهات، فاصله زهکش‌ها را در تیمارهای $L_{15}D_{0.8}$ و $L_{15}D_1$ با بزرگ‌ترین انحراف از فاصله واقعی نسبت به سایر تیمارها برآورد می‌نماید، بطوری‌که می‌توان نتیجه گرفت با افزایش فاصله زهکش‌ها از دقت معادله هوخهات کاسته می‌شود. همچنین در اکثر بارندگی‌ها فواصل بدست آمده توسط معادله هوخهات در تیمارهای $L_{7.5}D_1$ و $L_{10}D_1$ نسبت به تیمار $L_{7.5}D_{0.8}$ و $L_{10}D_{0.8}$ انحراف کمتری از فاصله واقعی دارد. به‌عبارتی با کاهش عمق زهکش‌های زیرزمینی، از دقت معادله هوخهات در برآورد فاصله زهکش‌های زیرزمینی کاسته می‌شود. همچنین میانگین فاصله برآورد شده زهکش‌ها توسط معادله هوخهات در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$ و $L_{15}D_1$ در بارندگی دو روزه با مقدار ۳۰/۲ میلی‌متر به‌ترتیب ۴/۰۸، ۴/۴۶، ۸/۵۸، ۵/۷۹، ۷/۶۳ و ۱۷/۲۰ متر بود، به‌طوری‌که Hălbac-Cotoară-Zamfir (2009) فاصله زهکش را در منطقه مورد مطالعه خود با استفاده از معادله هوخهات در محدوده ۴- ۱۳ متر گزارش نمود که نتایج پژوهش حاضر با مطالعه ایشان همخوانی دارد. برخی محققین فاصله زهکش‌ها را توسط معادله هوخهات به‌ترتیب ۳۸ و ۵۸ متر برآورد نمودند که از دلایل بالا بودن فاصله زهکش‌ها در مطالعه آنها می‌تواند هدایت هیدرولیکی بالا در خاک‌های منطقه مورد نظر باشد (Mirzaei & Pazira, 1998; Darzi *et al*, 2014)

همان‌گونه که در جدول (۴) مشخص است معادله کرکهام در تمامی تیمارهای مورد مطالعه، فاصله زهکش‌ها را کمتر از مقدار واقعی برآورد کرده است که دلیل آن می‌تواند حساسیت بیش از حد معادله کرکهام به کوچک بودن هدایت هیدرولیکی در خاک‌های اراضی شالیزاری باشد، بطوری‌که پایین بودن

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴. فواصل برآورد شده توسط معادلات ماندگار و غیر ماندگار در تیمارهای مورد مطالعه

بارندگی	معادلات زهکشی	$L_{7.5}D_{0.8}$	$L_{10}D_{0.8}$	$L_{15}D_{0.8}$	$L_{7.5}D_1$	$L_{10}D_1$	$L_{15}D_1$
	معادله هوخهات	۴/۵۱	۵/۲۰	۱۱/۶۴	۵/۵۲	۷/۷۴	۱۵/۵۲
	معادله کرکهام	۱/۸۰	۲/۰۴	۴/۶۰	۱/۸۰	۲/۶۰	۴/۸۰
	معادله داغان	۴/۰۳	۴/۳۶	۹/۴۵	۳/۶۴	۵/۱۰	۹/۵۴
	معادله اگینو موراشیما	۵/۳۷	۵/۳۲	۱۰/۲۶	۵/۲۷	۷/۳۹	۱۲/۸۰
بارندگی دو روزه با مقدار۲۰/۴ میلی‌متر	معادله دلاکرویکس	۳۰/۶۷	۳۸/۱۴	۴۶/۴۴	۳۲/۳۳	۳۲/۳۳	۴۲/۲۹
	معادله هوخهات- ارنست	۷/۲۰	۷/۷۷	۱۶/۶۱	۸/۹۱	۱۲/۴۸	۲۳/۳۶
	معادله ارنست	۲/۰۶	۲/۹۹	۱۳/۴۸	۶/۵۷	۱۱/۱۶	۲۲/۹۴
	معادله گلور دام	۴/۶۴	۵/۸۶	۶/۶۹	۴/۷۰	۵/۲۴	۴/۹۸
	معادله دوزو و هلینگا	۴/۶۷	۵/۹۹	۷/۲۲	۳/۷۵	۴/۱۷	۳/۷۵
	معادله ترکیبی باور و وان شیلفگارد	۸/۲۰	۱۳/۰۶	۲۰/۴۱	۸/۰۵	۹/۵۷	۹/۲۷
	معادله هوخهات	۴/۰۸	۴/۴۶	۸/۵۸	۵/۷۹	۷/۶۳	۱۷/۲۰
	معادله کرکهام	۱/۶۰	۱/۷۶	۳/۴۰	۱/۹۰	۲/۶۰	۵/۲۰
	معادله داغان	۳/۶۲	۳/۸۵	۶/۹۳	۳/۸۴	۵/۰۷	۱۰/۶۹
	معادله اگینو موراشیما	۴/۸۷	۴/۹۵	۷/۶۸	۵/۶۰	۷/۳۹	۱۴/۵۱
بارندگی دو روزه با مقدار ۳۰/۲ میلی‌متر	معادله دلاکرویکس	۳۰/۶۷	۳۳/۹۹	۴۵/۶۱	۳۱/۵۰	۳۱/۵۰	۴۰/۶۳
	معادله هوخهات- ارنست	۶/۵۰	۶/۸۸	۱۲/۲۴	۹/۳۹	۱۲/۴۰	۲۶/۱۷
	معادله ارنست	۰/۶۹	۱/۴۸	۸/۶۷	۷/۲۶	۱۱/۰۶	۲۵/۸۶
	معادله گلور دام	۵/۲۳	۵/۶۰	۶/۶۹	۵/۱۹	۵/۷۶	۵/۴۱
	معادله دوزو و هلینگا	۴/۵۳	۴/۸۱	۵/۵۹	۳/۶۲	۳/۸۹	۳/۶۲
	معادله ترکیبی باور و وان شیلفگارد	۹/۱۹	۱۰/۴۱	۲۰/۴۱	۸/۷۱	۱۰/۲۲	۹/۷۱
	معادله هوخهات	۴/۴۸	۴/۶۹	۱۰/۲۷	۴/۹۶	۶/۸۰	۱۳/۵۸
	معادله کرکهام	۱/۹۲	۱/۸۰	۳/۸۰	۱/۷۰	۲/۳۶	۴/۰۰
	معادله داغان	۴/۰۷	۴/۰۰	۸/۴۱	۳/۳۶	۴/۴۸	۸/۰۱
	معادله اگینو موراشیما	۵/۵۴	۵/۰۴	۹/۳۱	۴/۹۹	۶/۴۹	۱۰/۲۶
بارندگی سه روزه با مقدار ۲۳/۹ میلی‌متر	معادله دلاکرویکس	۲۹/۰۱	۳۵/۶۵	۴۴/۷۸	۲۹/۰۱	۳۲/۳۳	۴۸/۹۳
	معادله هوخهات- ارنست	۷/۲۸	۷/۱۴	۱۴/۸۱	۸/۲۰	۱۰/۹۶	۱۹/۶۰
	معادله ارنست	۲/۱۸	۱/۹۶	۱۱/۵۴	۵/۴۷	۹/۳۲	۱۸/۹۹
	معادله گلور دام	۴/۲۰	۴/۱۵	۴/۶۱	۵/۰۴	۳/۴۸	۳/۹۹
	معادله دوزو و هلینگا	۴/۲۳	۴/۴۵	۵/۳۱	۴/۲۵	۲/۹۲	۴/۲۵
	معادله ترکیبی باور و وان شلیفگارد	۹/۶۵	۹/۶۵	۱۴/۰۷	۲۱/۱۲	۶/۳۳	۸/۹۲
	معادله هوخهات	۳/۸۸	۴/۸۹	۱۹/۲۵	۳/۷۱	۶/۵۰	۵/۹۹
	معادله کرکهام	۱/۶۰	۱/۹۲	۷/۶۰	۱/۳۰	۲/۰۰	۱/۷۶
	معادله داغان	۳/۵۶	۴/۱۱	۱۵/۹۳	۲/۶۶	۴/۰۴	۳/۶۱
	معادله اگینو موراشیما	۴/۹۹	۵/۰۸	۱۷/۱۷	۴/۲۱	۵/۴۸	۴/۷۲
بارندگی سه‌روزه با مقدار ۱۱۳/۴ میلی‌متر	معادله دلاکرویکس	۲۷/۳۵	۳۷/۳۱	۴۵/۶۱	۲۲/۳۷	۴۰/۶۳	۴۵/۶۱
	معادله هوخهات- ارنست	۶/۳۸	۷/۳۴	۲۷/۸۴	۶/۴۹	۹/۸۹	۸/۸۲
	معادله ارنست	۰/۴۱	۲/۲۹	۲۵/۱۷	۰/۵۸	۷/۹۴	۶/۴۴
	معادله گلور دام	۶/۵۷	۸/۱۱	۷/۶۳	۶/۴۵	۶/۵۶	۷/۱۳
	معادله دوزو و هلینگا	۲/۸۱	۳/۲۱	۳/۴۹	۲/۳۴	۲/۶۹	۲/۳۴
	معادله ترکیبی باور و وان شلیفگارد	۱۱/۶۰	۱۸/۶۸	۱۶/۷۵	۱۰/۳۳	۱۱/۷۵	۱۳/۸۴

Archive of SID

www.SID.ir

ادامه جدول ۴. فواصل برآورد شده توسط معادلات ماندگار و غیر ماندگار در تیمارهای مورد مطالعه

بارندگی	معادلات زهکشی	$L_{7.5}D_{0.8}$	$L_{10}D_{0.8}$	$L_{15}D_{0.8}$	$L_{7.5}D_1$	$L_{10}D_1$	$L_{15}D_1$
	معادله هوخهات	۶/۵۹	۵/۱۲	۱۵/۳۹	۵/۳۹	۹/۴۲	۳۹/۶۷
	معادله کرکهام	۴/۰۰	۲/۶۰	۷/۰۰	۲/۲۰	۳/۳۸	۱۲/۱۰
	معادله داغان	۸/۴۸	۵/۴۷	۱۴/۷۸	۴/۲۵	۶/۵۰	۲۶/۳۰
	معادله اگینو موراشیما	۱۷/۱۷	۸/۸۱	۱۹/۲۰	۷/۵۳	۹/۹۱	۳۸/۴۰
بارندگی چهار روزه با	معادله دلاکرویکس	۵/۷۸	۱۶/۵۶	۲۸/۱۸	۱۲/۴۱	۲۶/۵۲	۳۱/۵۰
مقدار ۱۹/۳ میلی‌متر	معادله هوخهات- ارنست	۷/۲۸	۷/۱۴	۱۴/۸۱	۸/۲۰	۱۰/۹۶	۱۹/۶۰
	معادله ارنست	۲/۱۸	۱/۹۶	۱۱/۵۴	۵/۴۷	۹/۳۲	۱۸/۹۹
	معادله گلور دام	۴/۲۰	۴/۱۵	۴/۶۱	۵/۰۴	۳/۴۸	۳/۹۹
	معادله دوزو و هلینگا	۴/۸۹	۶/۰۴	۶/۹۲	۵/۲۲	۶/۰۷	۵/۲۲
	معادله ترکیبی باور و وان شیلفگارد	۷/۸۱	۱۰/۳۵	۱۲/۲۷	۱۱/۳۵	۱۴/۶۰	۱۵/۵۷
	معادله هوخهات	۳/۶۶	۲/۵۸	۵/۰۸	۵/۲۸	۷/۳۴	۱۲/۸۸
	معادله کرکهام	۱/۶۸	۱/۲۸	۲/۲۸	۱/۹۰	۲/۶۴	۴/۲۰
	معادله داغان	۳/۶۶	۲/۷۸	۴/۸۳	۳/۷۸	۵/۱۰	۸/۴۴
	معادله اگینو موراشیما	۵/۷۲	۵/۰۴	۶/۷۸	۵/۹۹	۷/۸۳	۱۲/۱۴
بارندگی چهار روزه با	معادله دلاکرویکس	۱۹/۸۸	۱۳/۲۴	۲۵/۶۹	۲۲/۳۷	۲۵/۶۹	۳۳/۱۶
مقدار ۹۴/۷ میلی‌متر	معادله هوخهات- ارنست	۵/۵۶	۵/۰۴	۸/۶۰	۹/۲۴	۱۲/۴۸	۲۰/۶۶
	معادله ارنست	۰/۸۳	–	۴/۱۷	۷/۰۵	۱۱/۱۶	۲۰/۱۱
	معادله گلور دام	۴/۵۲	۶/۲۱	۶/۶۹	۵/۸۵	۶/۸۷	۶/۲۹
	معادله دوزو و هلینگا	۲/۸۷	۳/۴۸	۳/۴۳	۲/۸۵	۳/۰۳	۲/۸۵
	معادله ترکیبی باور و وان شلیفگارد	۷/۵۳	۱۳/۲۴	۲۰/۴۱	۸/۶۹	۱۰/۸۲	۱۰/۰۹
	معادله هوخهات	۴/۷۷	۵/۳۰	۹/۸۵	۶/۴۵	۸/۸۰	۲۵/۹۶
	معادله کرکهام	۱/۹۰	۲/۲۰	۳/۸۰	۲/۱۴	۲/۹۰	۷/۸۰
	معادله داغان	۴/۲۰	۴/۷۹	۸/۲۲	۴/۱۸	۵/۷۳	۱۶/۲۲
	معادله اگینو موراشیما	۵/۴۸	۶/۳۱	۹/۳۱	۵/۹۲	۸/۱۸	۲۲/۱۷
بارندگی شش روزه با	معادله دلاکرویکس	۳۲/۳۳	۳۰/۶۷	۴۲/۲۹	۳۴/۸۲	۳۳/۹۹	۳۹/۸۰
مقدار ۱۲۸/۵ میلی‌متر	معادله هوخهات- ارنست	۷/۵۱	۸/۵۲	۱۴/۴۷	۱۰/۳۱	۱۴/۰۲	۳۹/۷۴
	معادله ارنست	۲/۵۷	۴/۰۷	۱۱/۱۶	۸/۳۶	۱۲/۹۳	۳۹/۶۸
	معادله گلور دام	۷/۲۹	۶/۲۰	۶/۴۰	۷/۱۰	۷/۷۷	۷/۲۳
	معادله دوزو و هلینگا	۳/۳۶	۳/۲۸	۳/۳۸	۲/۶۰	۲/۹۳	۲/۶۰
	معادله ترکیبی باور و وان شلیفگارد	۱۳/۴۵	۱۰/۴۳	۱۴/۱۳	۱۶/۵۲	۱۴/۳۷	۱۳/۰۸
	معادله هوخهات	۳/۸۶	۵/۰۲	۳۰/۸۹	۶/۳۸	۸/۱۵	۳۴/۰۵
	معادله کرکهام	۱/۵۲	۲/۰۰	۱۳/۰۰	۲/۱۰	۲/۷۸	۹/۶۰
	معادله داغان	۳/۳۲	۴/۲۳	۲۵/۵۸	۴/۱۱	۵/۳۴	۲۰/۵۹
	معادله اگینو موراشیما	۴/۳۷	۵/۲۲	۲۷/۱۵	۵/۷۸	۷/۶۸	۲۷/۱۵
بارندگی هشت روزه با	معادله دلاکرویکس	۳۳/۱۶	۳۷/۳۱	۴۶/۴۴	۳۵/۶۵	۳۳/۱۶	۴۴/۷۸
مقدار ۴۰/۹ میلی‌متر	معادله هوخهات- ارنست	۵/۹۷	۷/۵۵	۴۴/۵۷	۱۰/۰۴	۱۳/۰۶	۵۰/۴۵
	معادله ارنست	–	۲/۶۴	۴۲/۱۲	۸/۱۴	۱۱/۸۳	۵۰/۴۸
	معادله گلور دام	۳/۶۰	۳/۴۹	۴/۴۶	۳/۶۶	۳/۵۵	۳/۹۴
	معادله دوزو و هلینگا	۴/۰۳	۴/۰۸	۵/۵۷	۳/۲۶	۳/۱۲	۳/۲۶
	معادله ترکیبی باور و وان شلیفگارد	۷/۰۴	۶/۸۴	۱۲/۴۹	۷/۰۶	۶/۶۰	۸/۵۳

Archive of SID

www.SID.ir

هدایت هیدرولیکی در خاک‌های رسی در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Ebrahimian & Noory, 2014; Maged Daoud, 2015). همچنین نتایج نشان داد که معادله کرکهام فاصله زهکش‌ها را در تمامی تیمارها بجز $L_{15}D_1$ با انحراف بیشتری (انحراف از فاصله واقعی) نسبت به معادله هوخهات برآورد نموده است. فاصله برآورد شده زهکش‌ها توسط معادله کرکهام در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$ و $L_{15}D_1$ طی بارندگی دو روزه با مقدار ۳۰/۲ میلی‌متر به‌ترتیب ۱/۶، ۱/۷۶، ۳/۴، ۱/۹، ۲/۶ و ۵/۲ متر بود، در حالی‌که فاصله زهکش‌ها در اراضی شالیزاری مازندران با استفاده از معادله کرکهام ۴۵ متر گزارش شد که یکی از دلایل مغایرت آن با این پژوهش می‌تواند بالا بودن هدایت هیدرولیکی در خاک‌های شالیزاری مازندران باشد (Darzi *et al*, 2014). نتیجه مطالعه دیگری نشان داد که معادله کرکهام در تیمار فاصله زهکش ۱۰ متر نسبت به تیمارهای فاصله زهکش ۲۰ و ۳۰ متر دقت بیشتری دارد و در تمامی تیمارها، معادله کرکهام فاصله زهکش‌ها را کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌کند که نتایج پژوهش حاضر با مطالعات ایشان همخوانی دارد (Djurović & Stričević, 2003c).

نتایج نشان داد که معادله داغان در تمامی بارندگی‌های مورد بررسی نسبت به معادله هوخهات فاصله زهکش‌ها را در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$ و $L_{10}D_1$ با انحراف بیشتری از فاصله واقعی برآورد نموده است. همچنین معادله ارنست فاصله زهکش‌های زیرزمینی را در اکثر تیمارهای مورد مطالعه با دقت قابل قبولی برآورد ننموده است، به‌عنوان مثال فاصله برآورد شده زهکش‌های زیرزمینی توسط معادله ارنست طی بارندگی سه‌روزه با مقدار ۱۱۳/۴ میلی‌متر در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$ و $L_{15}D_1$ به‌ترتیب ۰/۴۱، ۲/۲۹، ۲۵/۱۷، ۰/۵۸، ۷/۹۴ و ۶/۴۴ متر بوده است. معادله هوخهات- ارنست فاصله زهکش‌های زیرزمینی را در تیمارهایی با فاصله زهکش‌های زیرزمینی ۷/۵ و ۱۰ متر به ازای تمامی بارندگی‌های مورد بررسی با دقت قابل قبولی برآورد نموده است، این در حالی است که در برآورد فاصله زهکش‌های زیرزمینی در تیمارهای $L_{15}D_{0.8}$ و $L_{15}D_1$ از دقت معادله مذکور کاسته می‌شود.

معادله اگینو-موراشیما فاصله زهکش‌ها را طی بارندگی‌های هشت‌روزه با مقدار ۴۰/۹ میلی‌متر، شش‌روزه با مقدار ۱۲۸/۵ میلی‌متر و سه‌روزه با مقدار ۲۳/۹ میلی‌متر در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$ و $L_{10}D_1$ با دقت بیشتری نسبت به تیمارهای $L_{15}D_{0.8}$ و $L_{15}D_1$ برآورد نموده است. به‌عنوان مثال انحراف فاصله برآورده شده زهکش‌ها توسط معادله اگینو-موراشیما از فاصله واقعی در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$ و $L_{15}D_1$ در بارندگی شش‌روزه با مقدار ۱۲۸/۵ میلی‌متر به‌ترتیب ۲/۰۲، ۳/۶۹، ۵/۶۹، ۱/۵۸، ۱/۸۲ و ۷/۱۷ متر بدست آمد (جدول ۴).

همان‌گونه که در جدول (۴) مشخص است معادله دلاکرویکس به ازای تمام بارندگی‌های مورد بررسی، فاصله زهکش‌ها را بسیار بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. به‌طوری‌که در تیمارهای $L_{7.5}D_{0.8}$، $L_{10}D_{0.8}$، $L_{15}D_{0.8}$، $L_{7.5}D_1$، $L_{10}D_1$ و $L_{15}D_1$ میزان انحراف فاصله زهکش برآوردشده به‌وسیله معادله دلاکرویکس از فاصله واقعی در بارندگی دو روزه با مقدار ۳۰/۲ میلی‌متر به‌ترتیب ۲۳/۱۷، ۲۳,۹۹، ۳۰/۶۱، ۲۴، ۲۱/۵ و ۲۵/۶۳ متر به‌دست آمد. با مقایسه فواصل به‌دست آمده توسط معادله دلاکرویکس با فواصل به‌دست آمده توسط سایر معادلات می‌توان نتیجه گرفت که معادله دلاکرویکس تمایل به بیش‌برآورد کردن فاصله زهکش‌های زیرزمینی داشته و فاصله زهکش‌های زیرزمینی را با بالاترین انحراف از فاصله واقعی برآورد می‌کند، در نتیجه این معادله برای استفاده در اراضی شالیزاری توصیه نمی‌شود.

فاصله برآوردشده توسط معادله دوزو و هلینگا در تمامی تیمارهای زهکشی زیرزمینی، کمتر از مقدار واقعی بوده است، به‌طوری‌که می‌توان بیان نمود معادله دوزو و هلینگا تمایل به کم‌برآورد کردن فاصله زهکش‌های زیرزمینی دارد. همچنین دقت معادله دوزو و هلینگا در تیمارهایی با فاصله ۷/۵ و ۱۰ متر بیشتر از تیمار با فاصله ۱۵ متر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که معادله ترکیبی باور وان شیلفگارد با معادله هوخهات از بین معادلات غیر ماندگار بالاترین دقت را در برآورد فاصله زهکش‌های زیرزمینی دارد.

در این مطالعه با در نظر گرفتن منفعت اقتصادی، بارندگی پنج‌روزه با دوره بازگشت دوساله به‌عنوان باران طرح (Alizadeh, 2003) برای محصولات کشت دوم انتخاب گردید (باران پنج‌روزه با ۵۴/۴ میلی‌متر). از بین بارندگی‌های رخداده در طول آزمایش، باران سه‌روزه با مقدار ۲۳/۹ میلی‌متر به دلیل نزدیکی به باران طرح برای تصمیم‌گیری در مورد بهترین معادله انتخاب گردید. فاصله زهکش‌های زیرزمینی با استفاده از معادلات زهکشی در بارندگی سه‌روزه با مقدار ۲۳/۹ میلی‌متر محاسبه گردید (جدول ۴).

از آنجایی‌که در مطالعات پیشین برای فراهم کردن شرایط مناسب جهت کشت گیاهانی نظیر کلزا، شبدر برسیم و

Archive of SID

www.SID.ir

باقلا، زهکش‌های زیرزمینی با فاصله ۱۰ متر و عمق ۸۰ سانتی متر در فصل کشت دوم (با توجه به کنترل سطح ایستابی، عملکرد و صرفه اقتصادی) به‌عنوان عمق و فاصله مناسب زهکش معرفی شدند (Alizadeh *et al*., 2016a; Alizadeh, 2016). از بین معادلات مورد مطالعه معادله هوخهات- ارنست و معادله ترکیبی باور- وان‌شیلفگارد با معادله هوخهات، فاصله زهکش را با کمترین انحراف نسبت به تیمار مناسب زهکشی در فصل کشت دوم ($L_{10}D_{0.8}$) برآورد نموده است. در نهایت معادله هوخهات- ارنست و معادله ترکیبی باور- وان‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان بهترین و معادله دلاکرویکس به‌عنوان ضعیف-ترین معادله در مرحله زهکشی به‌منظور کشت دوم انتخاب شد.

نتیجه‌گیری کلی

بررسی کارایی معادلات ماندگار و غیر ماندگار در برآورد فواصل زهکش‌های زیرزمینی در تیمارهای مورد مطالعه نشان داد دقت معادله هوخهات در برآورد فاصله زهکش‌ها در تیمارهایی با فاصله کمتر از ۱۰ متر نسبت به سایر تیمارها بیشتر است ولی با افزایش فاصله زهکش‌ها تا ۱۵ متر از دقت معادله هوخهات کاسته می‌شود. همچنین نتایج نشان داد که معادله کرکهام و دلاکرویکس به‌ترتیب تمایل به کم برآورد و بیش برآورد نمودن فاصله زهکش‌های زیرزمینی نسبت به فاصله واقعی دارند. در نهایت از بین معادلات ماندگار معادله هوخهات- ارنست و از بین معادلات غیرماندگار معادله ترکیبی باور وان‌شیلفگارد با معادله هوخهات به‌عنوان بهترین معادله و معادله دلاکرویکس به‌عنوان ضعیف‌ترین معادله در مرحله زهکشی به‌منظور کشت دوم (کشت گیاهانی نظیر کلزا، شبدر برسیم و باقلا) معرفی می‌گردد.

سپاسگزاری

از موسسه تحقیقات برنج کشور به دلیل فراهم آوردن امکانات لازم برای اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی به‌عمل می‌آید.

REFERENCES

Alizadeh, A. (2003). Land drainage, design and planning of drainage systems in agriculture 5thAstanGhodsRazavi pub., 448 pp. (In Farsi).

Alizadeh, M. (2016). Comparison of the drainage equations for determining of subsurface drainage spaces in the paddy fields (case study: fields of rice research institute of Iran). Ph.D. Thesis University of Zabol. 163p. (In Farsi).

Alizadeh, M., Afrasiab, P., Yazdani, M.R., Liaghat, A and M, Delbari. (2016a). Evaluation the effect of space and depth subsurface drainage in the paddy field in order to develop second crop in a sample farm of Guilan. *Journal of Water Research in Agriculture*, 30 (2), 159- 172. (In Farsi).

Alizadeh, M., Afrasiab, P., Yazdani, M.R., Liaghat, A and M, Delbari. (2016b). 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).

Bybordi M. (1999). Principle of drainage engineering and land reclamation.8th ed. University of Tehran pub. (In Farsi).

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.* 12, 103-111.

Dehghanian, A. Haghayeghi, A and F. Rasouli. (2010). Determine distance subsurface drainage in the city of Marvdasht, Fars Province. 3nd National Conference on Irrigation and Drainage network management. Shahid Chamran University of Ahvaz. 1-7.(In Farsi).

Djurović. N and R. Stričević. (2003a). Application of Kraijenhoff Van De Leur-Maasland's method in drainage. *Journal of Agricultural Sciences*, 48 (2), 159-170.

Djurović. N and R. Stričević. (2003b). Some properties of Dagan's method for drain spacing determination in Marshy - Gley soil . *Journal of Agricultural Sciences*, 48 (1), 69-75.

Djurović. N and R. Stričević. (2003c). Some properties of Kirkham's method for drain spacing determination in Marshy - Gley soil. *Journal of Agricultural Sciences*, 48 (1), 59-67.

Ebrahimian, H and H, Noory. (2014). Modeling Paddy Field Subsurface Drainage Using HYDRUS-2D. *Paddy Water Environ*. 13: 477-485.

Hălbac-Cotoară-Zamfir, R. (2009). Results obtained in drainage arrangements design by using drainspace application. *Research Journal of Agricultural Science*, 41 (1). 426-431

Karimi, V. Yosifian, H. Salmani, M. (2007). Evaluation of subsurface drainage system with rice crust in rice lands. 2nd national conference of experience on constraction of water structures and irrigation of drainage networks. 247-251. (In Farsi).

Maged Daoud, H. (2015). Drainage Design Equation for Egyptian Vertisols. International Journal of Current Engineering and Technology. Vol.5, No.4. 2550-2556.

Mirzaei, GH. R and A, Pazira. (1998). Additional soil studies in the land Pashkla- Hajikla to calculate and determine the distance of drainage in the combination of several ships. MSc Thesis. 149p. (In Farsi).

Murashima, K. and Y. Ogino. (1992). Comparative Study on Study on Steady and Non-Steady State Formulae of Subsurface Drain Spacing – Design

Archive of SID

www.SID.ir

on Subsurface Drainage in Paddies (I)-. *Bulletin of the Universityof Osaka Prefecture*, 44, 41-48.

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.

Pali, A. K., Katre, P and Khalkho, D. (2014). An Unsteady Subsurface Drainage Equation Incorporating Variability of Soil Drainage Properties. *Water Resour Manage*. 28:2639–2653.

RAJAD., (1995). Analysis of subsurface drainage design criteria. Rajasthan Agriculture Drainage Research Project, Kota, India RAJAD.

Rawat, K., Tripathi, V., Gupta, S and K. Rao. (2001). Effect of drain placement in a low hydraulic conductivity zone in a two layered soil profile on transmissivity of the shallow aquifer. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 49 (3), 399-406.

Singh, PK., Singh, OP., Jaiswal, CS and H. S Chauhan. (1999). subsurface drainage of a three layered soil with slowly permeable top layer. *Agriculture Water Management*. 42:97–109.

Štibinger, J., (2009). Approximation of subsurface drainage discharge by De Zeeuw - Hellinga theory and its verification in heavy soils of fluvial landscape of the Cerhovice Brook. *Soil & Water Research*, 4 (1), 28-38.

MAFF (The Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries), (1979). Bureau of Agricultural Structure Improvement (BASI). Planning and Design Standards of Subsurface Drainage Project. 66p. (in Japanese).

Torabi, M. (1999). Mathematical model of drainage theory in steady and unsteady on finite element method with field conditions. Karaj. *Agricultural Engineering Research Institute*, Publication No. 143. (In Farsi)

Wu, G and S.T. Chieng. (1991). A convenient drain spacing formula for layered soils. *Canadian Agricultural Engineering*. 239-243.

Archive of SID

www.SID.ir