نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۲، ص. ۱۳-۱

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 1, Mar.-Apr. 2013, p. 1-13

تغییرات پروفیل سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش‌های پلکانی در یک خاک مطبق

سعید حمزه[1*]- عبدعلی ناصری[2]- حیدر علی کشکولی[3]

تاریخ دریافت:۱۳۸۸/۲/۴
تاریخ پذیرش:۱۳۹۱/۱۱/۸

چکیده

دو مورد از مباحث زهکشی که کمتر به آنها پرداخته شده است، یکی مسئله زهکشی در خاک‌های مطبق و دیگری مبحث زهکش پلکانی می‌باشد، و لزوم مطالعه و تحقیق بیشتر در این زمینه‌ها به‌چشم می‌خورد. بنابراین تحقیق حاضر تحت شرایط ویژه فوق در اراضی کشت و صنعت امام خمینی (ره) واقع در شمال استان خوزستان صورت پذیرفت. در اراضی کشت و صنعت امام خمینی (ره) بعد از مطالعات اولیه طراحی، فاصله زهکش‌ها حدود ۷۰ متر برآورد گردید و زهکش‌ها در عمق متوسط ۲/۱ متری نصب گردیدند. اما بعد از دو سال که از احداث زهکش‌ها در مزارع این واحد گذشت، مشاهده گردید که به علت وجود یک لایه با نفوذ پذیری کمتر از ۱۰ مرتبه نسبت به لایه‌های فوقانی و تحتانی در عمق حدود ۱۱۰ تا ۱۶۰ سانتیمتری، عملکرد زهکش‌های موجود در حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی مناسب نمی‌باشد. جهت رفع این مشکل اجرای زهکش‌های پلکانی پیشنهاد گردید. در این راستا بین هر دو زهکش موجود، یک خط زهکش جدید در عمق متوسط ۱/۲ متری نصب گردید. جهت بررسی‌های تکمیلی یکی از مزارع این واحد انتخاب گردید. در مزرعه مورد نظر در سه ردیف مختلف جمعا ۲۰ عدد چاهک مشاهده‌ای نصب گردید. پس از تجهیز چاهک‌ها و انجام مطالعات خاک‌شناسی، نوسانات سطح ایستابی، دبی آب ورودی و خروجی از مزرعه به صورت روزانه و طی ۳ نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد. سپس نتایج بدست آمده از طریق مشاهدات مزرعه‌ای با معادلات تحلیلی موجود، مورد ارزیابی قرار گرفتند. مشاهدات مزرعه‌ای نشان می‌دهد با نصب زهکش‌های جدید مشکل مزرعه به‌طور کامل رفع شده است و سطح آب زیرزمینی در مدت زمان مناسب (کمتر از ۳۶ ساعت) به زیر عمق توسعه ریشه می‌رسد. همچنین شدت افت سطح ایستابی در حالت واقعی با حرکت از انتهای مزرعه به سمت جمع کننده اصلی مزرعه (کلکتور) افزایش می‌یابد، و میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمقی همواره بیشتر از دبی زهکش‌های کم عمق می‌باشد. اما با توجه به شرایط خاص مزرعه و لایه‌ای بودن خاک، معادلات موجود قادر به شبیه سازی و پیش بینی دقیق پروفیل سطح ایستابی و دبی خروجی از مزرعه نبودند، و مقادیر بدست آمده از طریق معادله تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق داشتند.

واژه‌های کلیدی: دبی زهکش، خاک‌های مطبق، زهکش پلکانی، سطح ایستابی، معادلات تحلیلی

مقدمه

برخی شرایط از قبیل افزایش ضریب زهکشی به علت تغییر الگوی کشت، اشتباه در تعیین فواصل زهکش‌ها در زمان طراحی و یا تغییر مشخصات هیدرولیکی خاک پس از اجرای طرح باعث می‌شوند سیستم زهکشی موجود به خوبی کار نکند و نیاز به اصلاح داشته باشد. جهت اصلاح این سیستم می‌توان از سیستم زهکشی پلکانی استفاده نمود (۷). سیستم زهکشی پلکانی، یک نوع سیستم زهکشی زیرزمینی است که در آن خطوط زهکش مجاور هم، در دو عمق متفاوت نصب می‌شود. با قرار گرفتن زهکش‌ها در دو عمق مختلف حجم حفاری (خاک برداری و خاک ریزی جهت ترانشه) و همچنین هزینه‌های نصب در عمق، به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین در مناطق خشک و نیمه خشک دارای صرفه اقتصادی می‌باشد (۷).

سیستم زهکشی در دو عمق مختلف بر خلاف سیستم متداول، از پیشینه تحقیقات کمی بر خوردار است. در سال ۱۹۷۵ دبور و چو (۷) دو معادله تحلیلی، یکی برای جریان پایدار و بر اساس فرضیات دو پویی و فورشهایمر و دیگری با استفاده از روش باور و ون شیلفگارد برای جریان ناپایدار برای طراحی سیستم زهکش های نصب شده در دو عمق مختلف ارائه دادند. سبتی (۱۴) در سال ۱۹۸۹ با فرض اینکه سطح اولیه ایستابی به شکل سهمی است، یک روش تحلیلی و یک

۱- استادیار گروه مهندسی منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر
(*- نویسنده مسئول: Email:saeidhamzeh@gmail.com)
۲- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳ - استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیات اهواز

روش عددی برای پیش بینی جریان ناپایدار سطح ایستابی برای سیستم زهکشی در دو عمق مختلف ارائه نمود و نشان داد که دو روش فوق برای خاکهای یکنواخت نتایج مشابهی ارائه می‌دهند. ورما و همکاران (۱۹) در سال ۱۹۹۸ با استفاده از معادله خطی بوسینسک، یک معادله تحلیلی برای سیستم زهکشی در دو عمق مختلف بدست آوردند. آپادهیایا و چوهان (۱۷) در سال ۲۰۰۰ با در نظر گرفتن میزان تبخیر و تعرق معادله خطی بوسینسک را برای زهکش های پلکانی به صورت تحلیلی حل نمودند. راه حل بدست آمده توسط آنها نسبت به روش ورما و همکاران (۱۷) عبارتی آسان تر برای تعیین میزان ارتفاع سطح ایستابی نسبت به زمان ارائه می‌دهد.

در سال ۱۳۸۵ رحیمی خوب و همکاران (۲) یک مدل ریاضی از طریق روش عددی تفاضل‌های محدود برای پیش بینی وضعیت سطح ایستابی بین دو زهکش زیرزمینی که در دو عمق مختلف نصب شده‌اند، ارائه دادند. نتایج بدست آمده توسط آنها نشان می‌دهد که مدلهای عددی دو بعدی نسبت به مدل‌های تحلیلی از دقت بیشتری برخوردارند (۲).

در این میان نکته قابل توجه و مهمی که وجود دارد این است که تمام معادلات ارائه شده برای زهکش پلکانی و حتی اکثر معادلات ارائه شده برای زهکش های واقع شده در یک عمق با فرض همگن بودن خاک و ثابت بودن ضریب هدایک هیدرولیکی آن بدست آمده‌اند. اما در طبیعت همواره این شرایط صادق نیست و در خیلی موارد خاک از لایه های مختلفی تشکیل شده است.

مطالعات محدودی در خصوص زهکشی در خاکهای مطبق وجود دارد. در این خصوص ارنست و همکاران معادله‌ای جهت زهکشی در شرایط ماندگار و لایه ای بودن خاک ارائه دادند، که در این معادله خاک باید دولایه باشد یا در صورت چند لایه ای بودن آنرا مرکب از دولایه در نظر گرفت و از هدایت هیدرولیکی میانگین استفاده نمود (۱). داگان (۶) یک راه حل تقریبی برای زهکشی در یک خاک متشکل از دولایه تحت شرایط ماندگار ارائه نمود. توکسوز و کرکهام (۱۶) مطالعاتی در خصوص زهکشی در خاکی با دو و سه لایه مختلف تحت شرایط ماندگار انجام داده و معادله و نمودارهای جالبی جهت تعیین فواصل زهکش‌ها در خاک‌های مطبق ارائه دادند، اما بعلت فراوانی این نمودارها چندان مورد استقبال قرار نگرفتند. دیلمن (۹) بر اساس معادله کلی هوخهات یک معادله خطی شده جهت تعیین فاصله زهکشها در خاک های مطبق ارائه داد. اکثر مطالعات صورت گرفته در خصوص زهکشی در خاکهای مطبق تحت شرایط ماندگار بوده و مطالعات محدودی تحت شرایط غیر ماندگار صورت گرفته است. در این خصوص سینگ و همکاران (۱۹۹۹) با ادغام معادله ارائه شده توسط دیلمن (۱۹۷۴) برای زهکشی تحت شرایط ماندگار در خاکهای مطبق و معادله دوزو و هلینگا (۱۹۵۸) برای زهکشی در شرایط غیر ماندگار، معادله اخیر را جهت تعیین ارتفاع سطح ایستابی و میزان دبی خروجی از زهکش ها در خاکهای مطبق توسعه دادند و نشان دادند ارتفاع سطح ایستابی تحت تاثیر محل قرار گیری لایه‌ها نسبت به یکدیگر و موقعیت خطوط زهکش قرار دارد (۱۳).

براساس مطالب گفته شده دو مورد از مباحث اساسی و مهمی که در مطالعات و تحقیقات صورت گرفته در خصوص سیستم‌های زهکشی کمتر به آنها پرداخته شده است، یکی مسئله زهکشی در خاک‌های مطبق بویژه تحت شرایط غیر ماندگار و مورد دوم مبحث زهکش پلکانی می‌باشد. لذا لزوم توجه و تحقیق بیشتر در این زمینه‌ها به‌چشم می‌خورد.

همچنین براساس منابع موجود هیچ گونه تحقیقی در خصوص ترکیب دو حالت فوق یعنی زهکش پلکانی در خاکهای مطبق در سطح دنیا، چه در زمینه استخراج معادلات و چه در سطح مطالعات مزرعه‌ای صورت نگرفته است. در حالیکه اجرای زهکش پلکانی در مناطقی که لایه ای با نفوذ پذیری کمتر نسبت به لایه های فوقانی و تحتانی در نزدیکی سطح زمین وجود دارد می‌تواند مثمر ثمر واقع شود. همچنین اجرای این سیستم جهت اصلاح طرح های زهکشی اجرا شده در خاکهای مطبق که در مرحله طراحی به اشتباه خاک همگن در نظر گرفته شده و زهکش های اجرا شده به خوبی عمل نمی‌کنند گزینه بسیار مناسبی می‌باشد.

طرح‌های زکشی اجرا شده در اراضی کشت و صنعت نیشکر واقع در استان خوزستان یکی از بزرگترین و مهم ترین طرح های زهکشی کشور ایران می‌باشد. با توجه به وسعت زیاد این اراضی و مشکلات موجود اولیه در جمع آوری داده های کافی و مناسب میدانی در برخی اراضی، طرح های زهکشی اجرا شده دارای مشکل بودند. بعد از ارزیابی و مطالعه مجدد مشخص گردید مشکل خیلی از این اراضی بحث لایه ای بودن خاک بوده است که در مطالعات اولیه در نظر گرفته نشده بود. لذا جهت رفع مشکل این اراضی نصب خط زهکشی جدید در عمقی کمتر از عمق نصب زهکش‌های قدیمی و در حد فاصل بین آنها و در بالای عمق لایه با هدایت هیدرولیکی کمتر پیشنهاد گردید. به عبارتی دیگر سیستم زهکشی این اراضی به سیستم زهکشی پلکانی تبدیل گردید. لذا این تحقیق با هدف معرفی سیستم زهکش پلکانی در خاک مطبق و ارزیابی آن و همچنین مقایسه نتایج بدست آمده با معادلات تحلیلی موجود صورت پذیرفت.

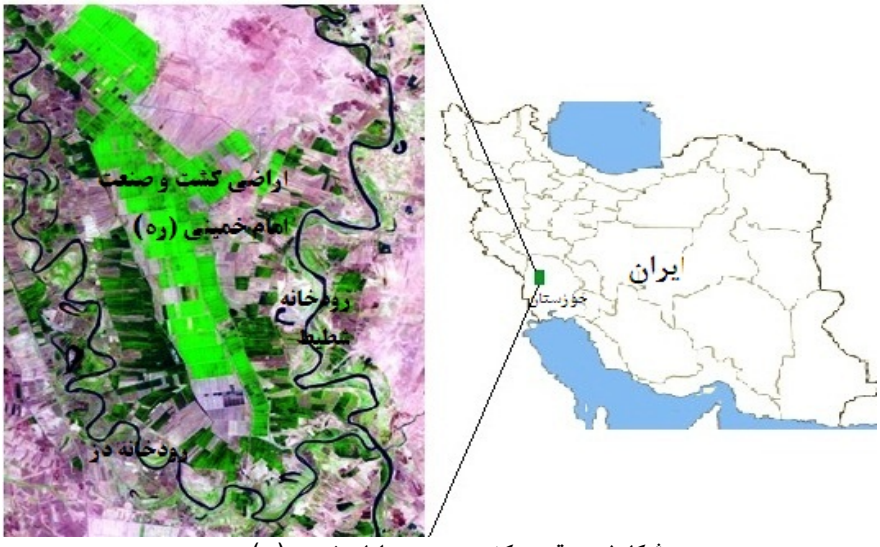
با توجه به منابع ذکر شده از آنجایی که مطالعه حاضر تنها مطالعه صورت گرفته تحت این شرایط ویژه یعنی زهکش پلکانی در یک خاک مطبق می‌باشد، لذا می‌توان با استفاده از نتایج آن، نگاهی جامع-تر برای طرح‌های آینده در اختیار برنامه ریزان و طراحان قرار داد.

مواد و روش ها

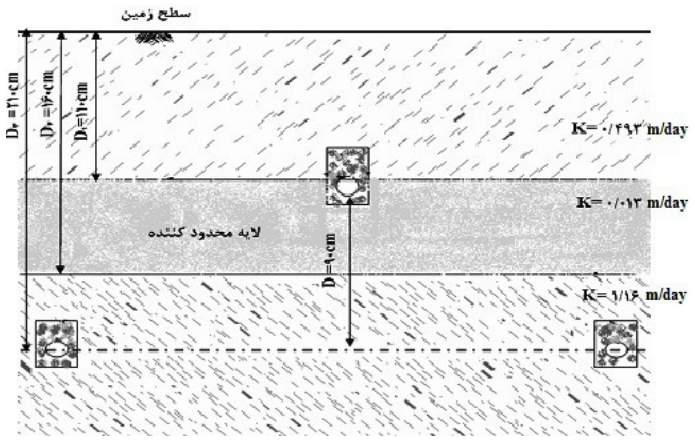
تحقیق حاضر در اراضی کشت و صنعت امام خمینی(ره) یکی از واحدهای هفت گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی انجام

گردید. منطقه مورد مطالعه بخشی از دشت شعیبیه استان خوزستان به مساحت ناخالص ۱۵۸۰۰ هکتار است، که در ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ۵۰ کیلومتری شمال شهر اهواز، و در طول جغرافیایی "۵°۴۸ تا "۳۷ °۴۸ شرقی و عرض جغرافیایی "۳۷°۳۱ تا °۳۲ شمالی قرار گرفته است و نسبت به سطح دریا ۴۲ متر ارتفاع دارد. از شمال به تپه ماهورها و از طرف شرق به رودخانه شطیط و از غرب به رودخانه دز محدود می‌شود (شکل۱). با توجه به آمار هواشناسی منطقه در اقلیم خشک و نیمه خشک طبقه بندی می‌شود. متوسط درجه حرارت سالیانه در یک دوره آماری ۱۰ ساله از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۸۵ برابر با ۲۴/۳ درجه سانتی‌گراد، میزان بارندگی متوسط سالیانه حدود ۲۶۶ میلیمتر و مقدار تبخیر سالیانه از سطح تشت کلاس A برابر ۲۷۸۸/۳ میلیمتر است. اراضی این واحد به قطعات منظم ۲۵ هکتاری (m ۲۵۰×۱۰۰۰) تقسیم شده است. و مجموعاً دارای ۴۸۰ مزرعه ۲۵ هکتاری می‌باشد، که تحقیق حاضر در مزرعه SC3-1 ،یکی از مزارع واحد مورد نظر به اجرا درآمد. آب آبیاری این اراضی از طریق پمپاژ از رودخانه‌های شطیط و دز گرفته می‌شود و توسط کانالهای بتنی به سر مزرعه منتقل می‌شود، و پس از آبگیری توسط دریچه کشویی و جعبه آبگیر، به وسیله لوله دریچه‌دار قابل انعطاف (هیدروفلوم) که در امتداد طولی مزرعه (۱۰۰۰ متر) کار گذاشته شده است در فاروهایی به طول ۲۵۰ متر و عرض ۱/۸ متر با انتهای مسدود توزیع می‌شود. در روز اول دور آبیاری حدود شش هکتار و در روز دوم نیز شش هکتار دیگر از مزرعه آبیاری می‌شود. به دلیل افت فشار در لوله‌های دریچه‌دار هر چه به انتهای مزرعه نزدیک می‌شود مساحت آبیاری به ازای هر روز کمتر می‌گردد، و به طور کلی یک دور آبیاری این اراضی حدود شش روز به طول می‌انجامد. در مجموع یک دور آبیاری اراضی در زمان حداکثر نیاز آبی یعنی ماه‌های تیر تا اردیبهشت هفت روز می‌باشد.

بعد از مطالعات اولیه طراحی، فاصلهٔ زهکش‌ها در اراضی کشت و صنعت امام خمینی(ره) بین ۶۰ تا ۸۰ متر (به طور میانگین حدود ۷۰ متر) برآورد گردید و زهکش‌ها با همین فاصله و در عمق متوسط ۲/۱ متری نصب گردیدند (با در نظر گرفتن متوسط عمق کنترل سطح ایستابی ۱۲۰ سانتی‌متر، متوسط ضریب هدایت هیدرولیکی ۲/۴ متر در روز و عمق لایه غیر قابل نفوذ ۶ متر) . اما بعد از ۲ سال که از احداث زهکش‌ها در مزارع این واحد گذشت، مشاهده گردید که متوسط عملکرد محصول در حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی، کمتر از متوسط عملکرد دیگر مزارع نیشکر می‌باشد. لذا جهت بررسی‌های دقیق و پیدا کردن منشاء اصلی مشکل، یکی از مزارع مشکل دار (مزرعه SC3-1) انتخاب گردید و مطالعات تکمیلی صورت گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌های تکمیلی به کمک دستگاه نفوذسنج گلف برای سه پروفیل حفر شده در مزرعه مذکور نشان داد که در عمق ۱۱۰ تا ۱۶۰ سانتیمتری هدایت هیدرولیکی لایه خاک نسبت به لایه بالاتر بین ۱۰ تا ۴۰ برابر کاهش داشته است (شکل ۲) . این پدیده موجب شده بود که لایه میانی به‌عنوان یک لایه محدود کننده (لایه نفوذ ناپذیر) عمل نماید. به‌رغم وجود زهکش‌های زیرزمینی در عمق ۲/۱ متری از سطح زمین در این اراضی، در اثر استقرار این زهکش‌ها در زیر لایه محدود کننده شرایط زهکشی تکافوی نیاز طرح نبود. جهت رفع این مشکل اجرای زهکش‌های پلکانی پیشنهاد گردید. پس از مطالعات تکمیلی مورد نیاز و اندازه گیری مجدد هدایت هیدرولیکی خاک و نظرات کارشناسی تصمیم بر نصب سه لترال جدید در عمق متوسط ۱/۲ متری از سطح زمین و در فواصل بین چهار لترال قدیمی گردید. (شکل۲).

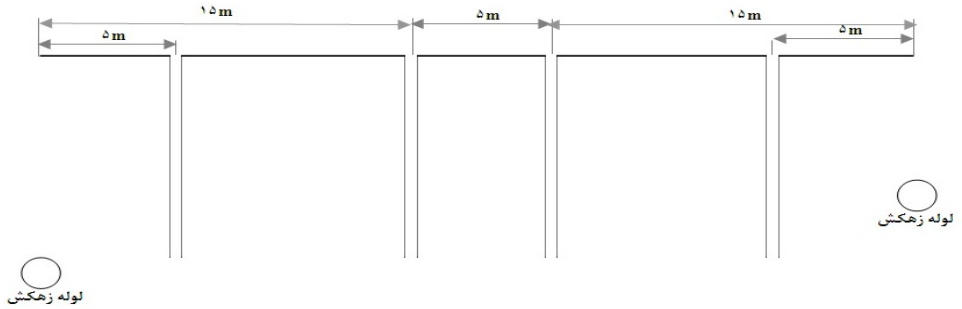


شکل۱ - موقعیت کشت و صنعت امام خمینی (ره)

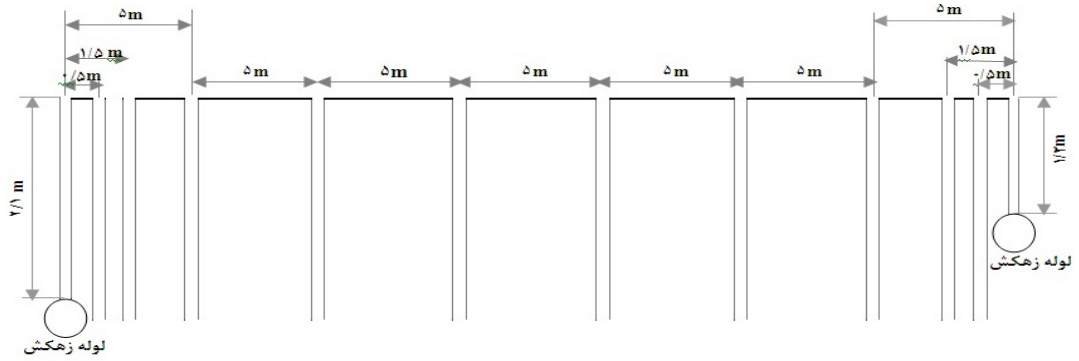


شکل۲- موقعیت و محل قرار گیری زهکش‌ها و لایه‌های خاک در اراضی تحت مطالعه

سپس جهت بررسی روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی در مزرعه مورد نظر تعداد ۲۰ عدد چاهک مشاهده ای در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده اصلی و روباز مزرعه (کلکتور) و در فواصل بین لترال های عمیق و کم، نصب گردید. به نحوی که در هر یک از فواصل ۲۵۰ و ۵۰۰ متری از جمع کننده، ۴ عدد چاهک به فواصل ۵ و ۱۵ متری از زهکش‌های عمیق و کم عمق (شکل ۳)، و در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی، ۱۲ عدد چاهک مشاهده ای نصب گردید، به‌نحوی‌که روی لوله‌های زهکش و به فاصلهٔ ۰/۵ متری و ۱/۵ متری از آنها یک چاهک، و سایر چاهک‌ها نیز در فاصله بین دو خط زهکش عمقی و کم عمق و به فواصل ۵ متری از یکدیگر نصب گردیدند (شکل ۴). در نهایت با استفاده از دوربین نقشه‌برداری محل چاهک‌ها نسبت به شاخص تراز محلی ترازیابی شد.



شکل ۳- محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده‌ای نسبت به لوله‌های زهکش در فواصل ۲۵۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده



شکل ٤- محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده ای نسبت به لوله‌های زهکش در فاصله ۵۰۰ متری از جمع کننده

پس از تجهیز چاهک‌ها و امکان قرائت سطح ایستابی، نوسانات سطح ایستابی و دبی آب خروجی از زهکش‌های مزرعه به طور روزانه از تاریخ ۱۳۸۶/۴/۱ تا ۱۳۸۶/۵/۳ به مدت سه دوره آبیاری ثبت شدند. جهت قرائت سطح آب درون چاهک‌ها از عمق سنج الکتریکی استفاده گردید و اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها نیز از روش حجمی و با استفاده از ظرف مدرج اندازه‌گیری حجم آب و زمان‌سنج به صورت روزانه و در سه نوبت صبح، ظهر و عصر صورت گرفت. همچنین جهت تعیین لایه‌بندی و اندازه گیری ضرائب آبگذری خاک مزرعه آزمایشی در نقاط مختلف، جمعاً در ۳ ایستگاه به فواصل ۲۵۰ ، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده روباز مزرعه و در هر ایستگاه ۳ چاهک با اعماق ۱۱۰، ۱۷۰ و۲۵۰ سانتیمتری، حفاری شد. و در روز بعد از آبیاری هدایت هیدرولیکی اشباع کلیه چاهک ها با سه تکرار و از طریق روش ارنست تعیین گردید. همچنین جهت تعیین دقیق هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های فوقانی خاک از نتایج بدست آمده از روش پرامتر گلف برای اعماق ۱۱۰ cm-۰ و ۱۶۰cm-۱۱۰ که قبلا توسط کارشناسان شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی در ۳ ایستگاه ذکر شده اندازه گیری شده بود نیز استفاده گردید، که نتایج در قسمت بعد ارائه شده است.

در نهایت جهت تعیین روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی، با استفاده از داده‌های برداشت شده از قرائت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای، تغییرات پروفیل سطح ایستابی در فاصله بین زهکش‌های عمیق و کم عمق نسبت به زمان و مکان و در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از محل خروجی لاترال ها به جمع کننده، ترسیم شد و این مقادیر با مقادیر بدست آمده از معادله تحلیلی آپادهیا و چوهان (۱۷) مورد ارزیابی قرار گرفت. معادله عمومی ارائه شده توسط این دو محقق به صورت زیر می‌باشد.

$$h(X,t)=-\frac{2}{\pi}e^{-\left(bt/f\right)}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\sin\beta_n X\left[\left(-h_0\right)e^{-\alpha\beta_n^2 t}+\frac{1}{f}\left(E_0-bh_0\right)\left(\frac{e^{bt/f}-e^{-\alpha\beta_n^2 t}}{\left(b/f\right)+\alpha\beta_n^2}\right)\right]\left[1-(-1)^n\right]$$
$$+\frac{2}{\pi}e^{-\left(bt/f\right)}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}(-1)^n\sin\beta_n X\left[h_1e^{-\alpha\beta_n^2 t}+\frac{bh_1}{f}\left(\frac{e^{bt/f}-e^{-\alpha\beta_n^2 t}}{\left(b/f\right)+\alpha\beta_n^2}\right)\right]+\frac{X}{L}h_1 \qquad (۱)$$

در معادله فوق، h_0 سطح اولیه ایستابی می‌باشد که در زمان صفر افقی فرض می‌شود، h ارتفاع سطح ایستابی بالای محور زهکشی در زمان t با بعد (L)، $\alpha = KD/f$، k متوسط هدایت هیدرولیکی منطقه جریان (L/T)، D عمق متوسط جریان است که از مجموع فاصله لایه غیر قابل نفوذ تا زهکش‌ها و نصف ارتفاع سطح اولیه ایستابی تا زهکش‌ها بدست می آید (L)، f تخلخل قابل زهکشی سفره آبخوان (بدون بعد)، x فاصله افقی از مبدا مختصات زهکشی (فاصله از زهکش عمقی) (L)، t زمان سپری شده از شروع افت سطح ایستابی (T) و h_1 فاصله عمودی بین دو زهکش با بعد (L)، E_0 میزان تبخیر و تعرق در سطح خاک با بعد (LT^{-1})، b شیب تغییرات تبخیر و تعرق با بعد (T^{-1}) و $\beta n = n\pi/L$ می‌باشد. شایان ذکر است چنانچه در معادله فوق میزان h_1 برابر صفر در نظر گرفته شود، این معادله برای زهکش های واقع شده در یک عمق قابل استفاده است. جهت انجام محاسبات و تعیین پروفیل سطح ایستابی، معادله فوق به صورت یک برنامه کامپیوتری درمحیط برنامه نویسی MATLAB نوشته شد و معادله مذکور به راحتی حل گردید.

همچنین جهت سنجش دقیق‌تر رفتار معادله در طول پروفیل سطح ایستابی، منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل نیز به صورت بی‌بعد (برحسب x/L) ترسیم شد و مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری خطا در موارد ذکر شده رابطهٔ زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$\%Error=\frac{X_0-X_c}{X_0}\times 100 \qquad (۲)$$

که در آن X_0 مقدار مشاهده شده در مزرعه و X_c مقدار برآورد شده توسط معادله تحلیلی می باشد.

نتایج و بحث

لایه بندی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

بعد از تعیین لایه بندی خاک از طریق حفر پروفیل عمقی خاک، و اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی لایه های مختلف از طریق روش-های پرامترگلف و چاهک (ارنست) مشخص شد که خاک مزرعه مورد نظر از سه لایه با مقادیر مختلف هدایت هیدرولیکی تشکیل شده است که نتایج آن در جدول ۱ آمده است.

جدول۱- نتایج حاصل از تعیین لایه بندی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

عمق خاک (cm)	روش چاهک (ارنست) (m/day)			روش پرامتر گلف (m/day)		
	ایستگاه(۱)	ایستگاه(۲)	ایستگاه(۳)	ایستگاه(۱)	ایستگاه(۲)	ایستگاه(۳)
۰-۱۱۰	-	۰/۹۶۹	۰/۴۳۹	۰/۷۱۲۰	۰/۲۳۷۸	۰/۷۱
۱۱۰-۱۶۰	-	۰/۰۲۷۹	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱۴۳	۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۵۷
۱۶۰-۲۵۰	۱/۲۶	۱/۱۷	۱/۰۷	-	-	-

ایستگاه ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در فاصله طولی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده روباز مزرعه و در قسمت میانی عرض مزرعه واقع شده اند.

در خصوص تفاوت زیاد بین روش های پرامتر گلف و چاهک در لایه اول (۱۱۰-۰ سانتیمتر) دلیل اصلی این است که چون هدایت هیدرولیکی این لایه به روش چاهک دقیقا بعد از عملیات آبیاری اندازه گیری گردید، یعنی زمانی که مزرعه غرقاب بود، چاهک سریعا پر از آب می‌گردید و لذا نتایج دقت کافی نداشتند. همچنین از آنجایی که عمق لایه دوم (۱۶۰-۱۱۰ سانتیمتر) نیز بسیار کم بود (تنها ۵۰ سانتیمتر) استفاده از روش چاهک برای این لایه نیز بسیار دشوار و بود. لذا برای این دو لایه از نتایج پرمامتر گلف استفاده گردید. از طرف دیگر این دو لایه بالای عمق سطح آب زیرزمینی هستند و برای این حالت نیز بهترین روش پرامتر گلف است. اما از آنجایی که نتایج پرمامتر گلف در اعماق زیاد (بیش از ۱/۵ متر) از دقت کافی برخوردار نیست برای لایه زیرین (۲۵۰-۱۶۰ سانتیمتر) از نتایج چاهک استفاده گردید. با توجه به نتایج جدول فوق و توضیحات ذکر شده در نهایت جهت انجام محاسبات، برای لایه های اول و دوم از داده های پرامتر گلف و برای لایه سوم از داده های چاهک استفاده گردید. بدین منظور برای هر لایه از میانگین هندسی مقادیر بدست آمده استفاده گردید. بنابراین میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی سه لایه برابر با ۰/۹۸ (متر بر روز) بدست آمد. جهت بدست آوردن مقدار تخلخل ویژه گراف ارائه شده توسط USBR (۱۸) که ارتباط بین ضریب آبگذری و آبدهی ویژه را نشان می دهد استفاده گردید و این مقدار برابر ۵ درصد بدست آمد.

روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی

شکل ۵ موقعیت پروفیل سطح ایستابی واقعی بدست آمده از قرائت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای و سطح ایستابی محاسبه شده توسط معادله ۱ با توجه به داده‌های برداشت شده از مزرعه آزمایشی برای دور دوم آبیاری، و نیز منحنی نحوه تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی را نشان می‌دهند.

لازم به ذکر است از آنجایی که در هر سه دور آبیاری دقیقا میزان آب آبیاری و تعداد روزهای آبیاری یکسان بود نتایج بدست آمده برای نوسانات سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش‌ها برای هر سه دوره آبیاری یکسان بدست آمد. با تکرار اندازه گیری ها در سه دوره آبیاری از صحت داده های اندازه گیری شده اطمینان حاصل گردید.

نکات و مواردی که در این مقادیر، شکل ها و نحوه تغییرات آنها مشاهده می‌شود و دلایل ممکن آنها را می‌توان به طور کلی به صورت زیر برشمرد:

الف) توزیع زمانی و مکانی پروفیل سطح ایستابی:

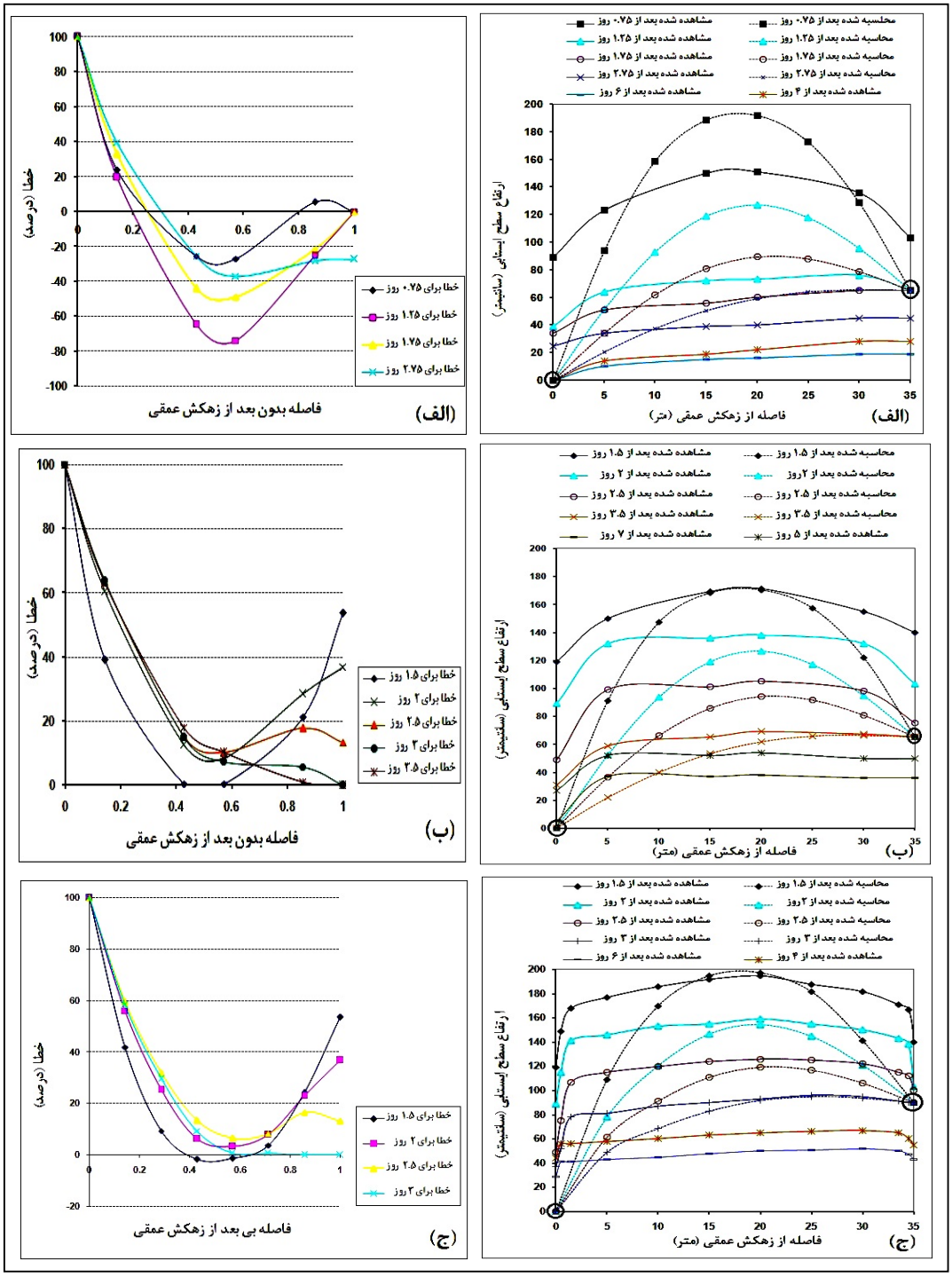
همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نقطه حداکثر ارتفاع سطح آب پس از آبیاری مزرعه و بالا آمدن سطح ایستابی با گذشت زمان از نقطه میانی بین دو زهکش به طرف زهکش کم‌عمق پیش می‌رود و زمانی که به ارتفاع نصب زهکش کم‌عمق می‌رسد، دبی جریان آب در زهکش کم عمق صفر شده و عملاً این زهکش از کار می‌افتد و زهکشی توسط زهکش‌های واقع در عمق یکسان اما با فاصله دو برابر فاصله زهکش‌های پلکانی صورت می‌گیرد.

ب) تاثیر جمع کننده روباز بر افت سطح ایستابی:

نکته دیگری که از نتایج مشهود می‌باشد این است که عمق و شدت افت سطح ایستابی در حالت واقعی با حرکت از انتهای مزرعه به سمت کلکتور افزایش می‌یابد (عمق و شدت افت سطح ایستابی درچاهک‌های واقع در فاصلهٔ ۲۵۰ متری بیشتر از ۵۰۰ متری و در فاصلهٔ ۵۰۰ متری بیشتر از فاصله ۷۵۰ متری است). که این امر بیانگر نقش کلکتورها یا جمع‌کننده‌های روباز در کنترل سطح ایستابی است. در صورتی‌که در محاسبات اولیه طراحی و معادلات موجود این نقش در نظر گرفته نمی‌شود. همانطور که در شکل ۵ مشخص است بعد از گذشت حدود ۱/۵ روز از پایان آبیاری حداکثر ارتفاع آب در چاهک های واقع در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده مزرعه به ترتیب در ارتفاع ۶۰، ۱۳۵ و ۱۵۰ سانتیمتری نسبت به زهکش عمقی قرار گرفته اند. که این امر نشان دهنده افزایش افت سطح ایستابی نسبت به زمان با نزدیک شدن به جمع کننده روباز مزرعه و به عبارت دیگر تاثیر جمع کننده روباز بر روی افت سطح ایستابی است.

پ) عوامل ایجاد اختلاف بین نتایج بدست آمده و مقادیر مشاهده شده در مزرعه:

چنانکه مشاهده می‌گردد منحنی‌های بدست آمده از طریق معادله تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی (نقاط وسط بین دو خط زهکش) با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق دارند.



شکل ۵- پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده (خطوط ممتد)در مزرعه و محاسبه شده (خطوط منقطع) توسط معادله تحلیلی در فواصل ۲۵۰ (الف)، ۵۰۰ (ب) و ۷۵۰ (ج) متری از خروجی و منحنی های خطا برای هریک.

این نکته از روی منحنی خطاها برای هر وضعیت نیز مشاهده می‌گردد. دلایل ممکن این تغییرات را می‌توان به‌صورت زیر بیان نمود:

به طور کلی مدل‌های تحلیلی معمولاً برای مسائل ساده و تک-بعدی به کار برده می‌شوند و به دلیل استفاده از فرضیات ساده کننده در حل این معادلات، نتایج بدست آمده از آنها با شرایط طبیعی کاملاً سازگار نمی‌باشد (۱۱، ۱۴ و ۱۷). این امر دلیل اصلی ایجاد خطا بین نتایج بدست آمده و مشاهده شده می‌باشد، که از جمله مهم ترین این فرضیات و خطای ایجاد شده توسط آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- در نظر گرفتن همروند و همگن بودن سفره آزاد موجود در بالای لایه غیر قابل نفوذ:

یکی از محدودیت‌ها و فرضیات اصلی جهت بدست آوردن معادلات مناسب برای زهکش‌های موازی از طریق حل تحلیلی معادله بوسینسک، همگن و ایزوتروپ بودن سفره آبخوان آزاد موجود در بالای لایه غیر قابل نفوذ می‌باشد (۱۷). لذا در جاهایی که خاک مزرعه مورد نظر مطبق باشد، به ناچار جهت انجام محاسبات از طریق این معادلات مجبور به استفاده از میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف می‌باشیم (۶، ۹ و ۱۵). این موضوع یکی از دلایل مهم اختلاف موجود بین مقادیر مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده توسط راه حل تحلیلی مورد نظر می‌باشد.

از آنجایی‌که خاک مزرعه آزمایشی مورد نظر از سه لایه با ضرایب آبگذری مختلف تشکیل شده است، این مسئله باعث تغییر الگوی مسیر خطوط جریان به سمت زهکش ها می‌گردد. مخصوصاً لایه محدود کننده مانع نفوذ عمودی آب می‌گردد و به دلیل افزایش مقاومت خاک در برابر مسیر جریان آب، باعث می‌شود وضعیت خطوط جریان از حالت شعاعی خارج شده و به صورت افقی باشد که این وضعیت در نزدیکی لوله‌های زهکش افزایش می‌یابد (۱۳).

۲- عدم در نظر گرفتن مقاومت‌های شعاعی و ورودی جریان به درون زهکش‌ها :

یکی دیگر از فرضیات مورد استفاده جهت ساده سازی محاسبات در تعیین معادلات زهکشی، فرضیات مربوط به زهکش آرمانی است. به‌نحوی که زهکش به صورت نیمه پر و بدون مقاومت ورودی در برابر جریان، عمل می‌کند (در شرایط ایده آل $he=0$ است)(۴و ۱۰). به‌طور کلی فرض می شود که مواد هم‌جوار زهکش (مواد پوششی و خاک های ریخته شده به درون ترانشه) در مقایسه با خاک دست نخورده اطراف دارای آن‌چنان هدایت هیدرولیکی بالایی است که می‌توان از مقاومت ورودی به درون زهکش چشم پوشی نمود. اما تجربیات عملی نشان داده است که این موضوع همواره صادق نیست و عملاً عمق آب در لوله از کاملاً پر تا کاملاً خالی متغیر است و این مسأله هنوز نیاز به تحلیل‌های نظری و تجربی بیشتری دارد زیرا در شرایطی ممکن است مقادیر قابل توجهی مقاومت ورودی وجود داشته باشد (۴، ۱۱ و ۱۴).

این معادلات همچنین مقاومت شعاعی جریان ورودی به زهکش-ها در لایه‌های بین عمق نصب زهکش تا لایه غیر قابل نفوذ (تقارب خطوط جریان) را به حساب نمی‌آورند و جهت لحاظ نمودن افت بار و همگرایی خطوط جریان در نزدیکی زهکش‌ها، عمق معادل از معادلات جریان ماندگار(d)، به جای عمق واقعی لایه غیر قابل نفوذ به کار گرفته می‌شود. طبق نظرات وان شیلف‌گارد (۴)، کاربرد عمق معادل هوگهات به جای عمق واقعی تا لایه غیر قابل نفوذ، می‌تواند تا حدی ضعف معادلات دیفرانسیل اولیه در مورد همگرایی خطوط جریان را جبران کند اما به طور کامل ضعف معادلات مورد نظر را جبران نکرده و هم چنان مقادیری خطا در انجام محاسبات مورد نظر وجود خواهد داشت (۴ و ۱۱). از طرفی به علت طبیعت سنگین بافت مزرعه مورد نظر و وجود لایه نفوذناپذیر، میزان کلیه مقاومت‌های عمودی، افقی، شعاعی و ورودی به سمت لوله‌های زهکش افزایش می‌یابد، که این امر باعث افزایش خطاها، بالاخص در نزدیکی لوله-های زهکش می‌گرد.

۳- در نظر گرفتن فرضیات دوپویی و فرشهایمر جهت حل معادلات:

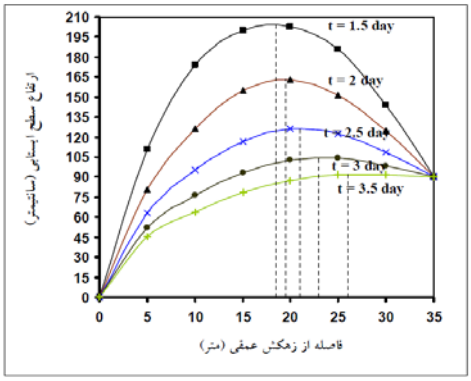
اکثر معادلات زهکشی مبتنی بر فرضیات دوپوئی و فورشهایمر هستند. این فرضیات ما را قادر می سازد تا با در نظر گرفتن خطوط جریان به صورت افقی و موازی، جریان دو بعدی را یک جریان یک بعدی فرض نماییم. البته هنگامی که زهکش‌ها به فاصله بسیار کمی از لایه غیر قابل نفوذ و یا روی آن قرار گرفته باشند، چنین جریانی رخ خواهد داد و با دور شدن فاصله زهکش‌ها از لایه غیر قابل نفوذ اختلاف از این حالت نیز افزایش می‌یابد. در این تحقیق با توجه به اینکه براساس محاسبات انجام شده در زیر عمق نصب زهکش‌ها لایه غیر قابل نفوذی مشاهده نگردید، طبق مباحث گفته شده، مقادیر خطا بیشتر خواهد بود.

۴- در نظر گرفتن سطح اولیه ایستابی به صورت یک خط افقی :

یکی دیگر از فرضیات در نظر گرفته شده توسط آپادهیا و چوهان (۱۷) جهت حل تحلیلی معادله بوسینسک این است که شکل سطح ایستابی قبل از آغاز مرحله زهکشی یعنی در زمان صفر افقی بوده و این سطح در لحظه شروع زهکشی منطبق بر سطح زمین می‌باشد. در صورتی که تحت شرایط واقعی شکل اولیه سطح ایستابی افقی نبوده و شکل واقعی سطح اولیه ایستابی به صورت تابع سهمی درجه چهار است (۱۱). این امر نیز به نوبه خود می‌تواند یکی از منابع ایجاد خطا در انجام محاسبات از طریق معادلات تحلیلی باشد.

تغییرات مکانی حداکثر ارتفاع سطح ایستابی

جهت بررسی بهتر تغیرات مکانی سطح ایستابی، تغییرات سطح ایستابی برای زمان های ۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۳/۵ روز بعد از قطع آبیاری و در فاصله ۵۰۰ متری از جمع کننده مزرعه مورد آزمایشی در شکل ۶ نشان داده شده است.

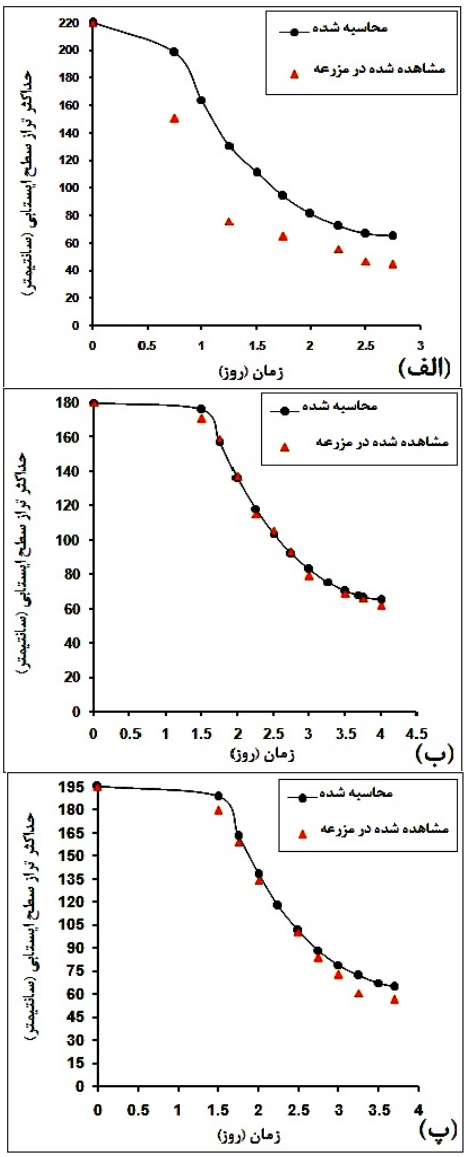


شکل ۶ - تغییرات مکانی محاسبه شده حداکثر تراز سطح ایستابی با گذشت زمان برای مزرعه آزمایشی (خطوط ممتد موقعیت این نقطه را برای زمان‌های مختلف نشان می‌دهد.)

همان‌طور که مشاهده می‌گردد موقعیت نقطه حداکثر سطح ایستابی با گذشت زمان از نقطه وسط بین دو زهکش به سمت زهکش کم عمق پیش می‌رود و بعد از گذشت مدت زمان حدود ۳/۵ روز این نقطه به ارتفاع نصب زهکش کم عمق می‌رسد که در این حالت دبی جریان آب در زهکش کم عمق صفر شده و عملاً این زهکش از کار می‌افتد و زهکشی خاک توسط زهکش‌های واقع در عمق یکسان اما با فاصله ۷۰ متر صورت می‌گیرد. . البته این تغییر مکان در زمان‌های اولیه کم بوده و با گذشت زمان افزایش می‌یابد.

تغییرات زمانی حداکثر ارتفاع سطح ایستابی

با توجه به اهمیت ویژه مقادیر حداکثر تراز سطح ایستابی در مباحث طراحی و مبنا قرار گرفتن این مقادیر برای تعیین فواصل زهکش‌ها، در این قسمت به طور کامل‌تر به بررسی تغییرات این مقادیر برای سیستم زهکشی موجود پرداخته شده است. بدین منظور تغییرات حداکثر ارتفاع سطح ایستابی نسبت به زمان برای یک دوره آبیاری هم‌زمان با قطع فرآیند آبیاری، برای زهکش‌های پلکانی و در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از محل خروجی لاترال‌ها به جمع کننده، با استفاده از معادله تحلیلی آپادهیا و چوهان محاسبه شد و این مقادیر با مقادیر بدست آمده از قرائت سطح آب در چاهک ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل۷- تغییرات زمانی اندازه گیری شده (نقاط) و محاسبه شده (خطوط ممتد) حداکثر تراز سطح ایستابی در فواصل ۲۵۰ (الف)، ۵۰۰ (ب) و ۷۵۰ (پ) متری از جمع کننده روباز مزرعه

نکات و مواردی که از شکل‌های فوق مشاهده می‌شود و دلایل ممکن آنها را می‌توان به طور کلی به صورت زیر برشمرد:

۱- به جز در فاصله ۲۵۰ متری از جمع کننده مزرعه که مقادیر اندازه‌گیری شده همگی در ارتفاع کمتری نسبت به مقادیر محاسبه شده قرار دارند در دو حالت دیگر این مقادیر در اکثر موارد نزدیک مقادیر محاسبه شده می‌باشند. به عبارت دیگر عمق و شدت افت نقطه حداکثر سطح ایستابی در فاصله ۲۵۰ متری از جمع کننده اصلی مزرعه نسبت به دو حالت دیگر بیشتر می‌باشد، که این امر بیانگر

نقش جمع‌کننده روباز در کنترل سطح ایستابی است، در صورتی‌که در محاسبات اولیه طراحی و معادلات موجود این نقش در نظر گرفته نمی‌شود در حالی که با در نظر گرفتن نقش جمع کننده‌ها در کنترل سطح ایستابی می‌توان عمق کنترل سطح ایستابی را در طراحی کمتر در نظر گرفت که باعث افزایش فاصلهٔ زهکش‌ها می‌شود.

۲- نقطه حداکثر سطح ایستابی در زمانهای اولیه سریعاً افت نمی‌کند، بلکه دارای یک زمان تاخیر در حدود ۱/۵ روز می‌باشد، البته این زمان برای فاصله ۲۵۰ متری از جمع کننده مزرعه به علت تأثیر آن در جمع آوری زه‌آب ها، کمتر و در حدود ۱/۲ روز می‌باشد. بر اساس مطالعات و اندازه گیری‌های خاک شناسی و نفوذ پذیری علت اصلی این تأخیر زمانی می‌تواند بافت سنگین خاک مزرعه و نفوذ پذیری بسیار پایین آن باشد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مطالعات پاندی و همکاران (۱۲) در هر راه حلی که از معادله بوسینسک بدست می‌آید، سطح ایستابی واقع در نقطه وسط بین دو زهکش سریعاً افت نمی‌کند، بلکه دارای یک زمان تاخیر می‌باشد. ورما و همکاران (۱۹) نیز این زمان تأخیر را با استفاده از روش پاندی و همکاران برای داده‌های مزرعه آزمایشی مورد نظر خود برابر ۱/۳۹ روز بدست آوردند و گفتند که چنانچه این زمان تاخیر در محاسبات در نظر گرفته شود هماهنگی و تطابق بین مقادیر واقعی و اندازه گیری شده بیشتر خواهد شد.

مقایسه بین مقادیر ماکزیمم سطح ایستابی برای سیستم جدید زهکشی (زهکش پلکانی با فواصل ۳۵ متر) و سیستم سابق (زهکش معمولی با فواصل ۷۰ متر) :

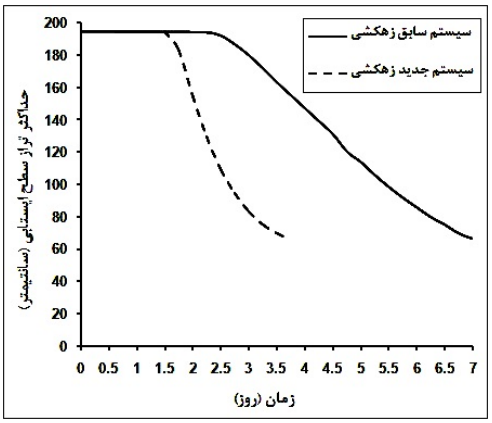
جهت بررسی‌های تکمیلی و تعیین عملکرد سیستم زهکش‌های پلکانی و تاثیر این زهکش‌ها بر کنترل سطح ایستابی به مقایسه بین مقادیر و روند افت حداکثر سطح ایستابی برای دو حالت قبل و بعد از نصب زهکش‌های پلکانی پرداخته شد. بدین منظور با استفاده از داده‌ها و اطلاعات موجود و بهره گیری از معادله تحلیلی روند افت نقطه حداکثر سطح ایستابی برای دو حالت زهکشی معمولی با فاصله ۷۰ متر و زهکش پلکانی با فاصله ۳۵ متر توسط معادله تحلیلی محاسبه، و رسم گردید. این مقادیر به طور موردی برای فاصله ۵۰۰ متری از زهکش جمع کننده مزرعه در شکل ۸ نشان داده شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد برای زهکش‌های معمولی با فاصله ۷۰ متر با در نظر گرفتن مدت زمان ۲/۵ روز جهت تخلیه ماندآب سطحی از روی مزرعه حدود ۴/۵ روز به طول می‌انجامد تا تراز نقطه حداکثر سطح ایستابی به ۷۰ سانتیمتری سطح زمین، یا به عبارتی عمق توسعه ریشه‌ها برسد، که مدت زمانی طولانی می‌باشد و واضح است که گیاه دچار تنش شوری و ماندآبی خواهد شد. اما همان‌طور که ملاحظه می‌گردد این مقدار برای زهکش‌های پلکانی با فاصله ۳۵ متر در حدود ۲/۲ روز است، که مدت زمانی مناسب می‌باشد و گیاه دچار تنش نخواهد شد.

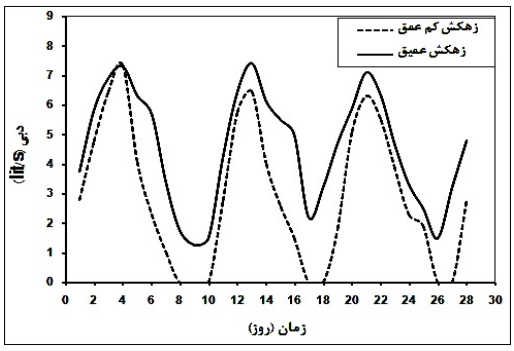
بنابراین به طور کلی می‌توان گفت که روند افت سطح ایستابی در زهکش‌های پلکانی نسبت به سیستم معمولی حدوداً دو برابر است. که این امر موجب تخلیه سریعتر زه آب موجود در ناحیه ریشه گیاه و جلوگیری از ماندآبی و افزایش شوری و به تبع آن افزایش راندمان تولید محصول گردیده است.

بررسی تغییرات زمانی دبی زهکش‌ها

تغیرات زمانی دبی زهکش‌های عمیق و کم عمق برای سه دوره آبیاری اندازه گیری شده، در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل۸- مقایسه بین مقادیر حداکثر ارتفاع سطح ایستابی برای سیستم جدید (زهکش پلکانی با فواصل ۳۵ متر) زهکشی مزرعه آزمایشی (خط منقطع) و سیستم سابق (زهکش معمولی با فواصل ۷۰ متر) مزرعه (خط ممتد).



شکل ۹- تغییرات دبی زهکش‌های عمیق (خط ممتد) و کم عمق (خط منقطع) برای سه دوره متوالی آبیاری

با توجه به شکل فوق، مشاهده می‌شود که دبی زهکش‌ها طی سه روز اول دوره آبیاری، که حدود ۷۰ درصد مزرعه در این دوره

آبیاری می‌گردد، با گذشت زمان افزایش می‌یابد تا اینکه در روز سوم به نقطه اوج خود می‌رسد و از آن به بعد، میزان دبی خروجی از زهکش‌ها کاهش یافته و از روز ششم به بعد، یا به عبارتی اتمام دور آبیاری به حداقل مقدار خود می‌رسد که در این زمان میزان دبی خروجی از زهکش‌های کم عمق صفر شده و تنها زهکش‌های عمقی کار می‌کنند. همچنین ملاحظه می‌گردد که میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمقی همواره بیشتر از دبی زهکش‌های کم عمق می‌باشد. بنابراین می‌توان جهت طراحی زهکش‌های کم عمق از لوله با قطر کمتر استفاده نمود.

با توجه به مطبق بودن خاک مزرعه و حالت خاص آبیاری مزارع، دبی خروجی از زهکش ها را توسط هیچ یک از معادلات تحلیلی موجود نمی‌توان شبیه سازی نمود. این امر لزوم توجه بیشتر به خصوصیات زمینهای در دست طراحی و استفاده از تجربیات منطقه ای و مزارع آزمایشی برای رسیدن به یک طراحی مناسب را روشن می‌سازد.

نتیجه گیری

این تحقیق با هدف معرفی سیستم زهکش پلکانی و ارزیابی عملکرد آن در یک مطبق و مقایسه نتایج بدست آمده با معادلات تحلیلی موجود صورت پذیرفت. در مجموع با توجه به تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده از این مطالعه نتیجه گیری گردید که سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی به خوبی عمل نموده و سطح آب زیرزمینی بعد از گذشت حدود ۱ تا ۱/۵ روز از پایان آبیاری در چاهک های واقع در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده مزرعه به ترتیب در عمق ۱۵۰، ۷۵ و ۶۰ سانتیمتری سطح قرار می‌گیرد. لذا سطح آب زیرزمینی در مدت زمانی مناسب به زیر عمق توسعه ریشه افت می‌نماید و مزارع با مشکل ماندابی همراه نخواهند شد. در حالی که قبل از احداث این زهکش‌ها سطح آب زیرزمینی در زمانی بیشتر از ۴۸ ساعت به زیر عمق توسعه ریشه ها می‌رسیده است و زمین با مشکل اساسی ماندآبی همراه بوده است. نکته دیگری که از مقادیر فوق نتیجه می‌شود این است که شدت افت سطح ایستابی در حالت واقعی با حرکت از انتهای مزرعه به سمت جمع کننده روباز مزرعه افزایش می‌یابد. و این امر نشان دهنده تاثیر جمع کننده مزرعه بر روی خروج آب زیرزمینی از مزرعه است.

نتایج نشان داد مقادیر بدست آمده از طریق معادله تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق داشتند که علت اصلی آن نیز وضعیت لایه‌ای بودن خاک مزرعه و ضعف معادلات موجود بود. همچنین میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمقی همواره بیشتر از دبی زهکش‌های کم عمق بود. که این امر به دلیل وجود بار آبی کمتر بر روی این زهکش‌ها می‌باشد.

در مجموع نتایج تحقیق حاضر گویای این امر است که یکی از بهترین گزینه ها جهت اصلاح طرح های زهکشی اجرا شده که دارای مشکل می‌باشند و همچنین بهبود زهکشی مزارع دارای خاک مطبق استفاده از سیستم زهکش پلکانی می‌باشد. اما در خصوص طراحی و اجرای این نوع سیستم زهکشی و هم چنین سیستم زهکشی معمولی بویژه در اراضی که دارای خاک لایه ای هستند نباید تنها به نتایج بدست آمده از معادلات تحلیلی که تحت شرایط مرزی خاص و با فرضیات و ساده سازی هایی بدست آمده اند اکتفا نمود و در این خصوص استفاده از تجربیات طرح های زهکشی مشابه اجرا شده در منطقه و یا احداث مزارع آزمایشی قبل از اجرای کل طرح می‌تواند به اجرای صحیح طرح کمک شایانی نماید.

منابع

۱- بای‌بوردی م. ۱۳۸۴. اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک. چاپ نهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۴۱ صفحه.

۲- رحیمی خوب ع.، ولی سامانی ج. و بهبهانی م.ر. ۱۳۸۵. مدل ریاضی جریان ناپایدار دو بعدی آب در زهکش های نصب شده در دو عمق مختلف. مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز. اردیبهشت ۱۳۸۵.

۳- علیزاده ا. ۱۳۷۴. زهکشی اراضی، طرح و برنامه ریزی سیستم های زهکشی در کشاورزی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۹۶، ۴۴۸ صفحه.

4- Bouwer M., and Van Schilfgaarde J. 1963. Simplified method of predicting fall of water table in drained land. Trans. ASAE 6, 288-291.

5- Chu S.T., and DeBoer D.W. 1976. Field and laboratory evaluation of bi-level drainage theory. Trans. ASAE 19(3),478-481.

6- Dagan G. 1965. Steady drainage of two layered soil. J. Irrig. Drain. Div. ASCE 91, 51-64.

7- DeBoer D.W., and Chu S.T. 1975. Bi-level subsurface drainage theory. Trans. ASAE, 18(4): 664-667.

8- De Zeeuw J.W., and Hellinga F. 1958. Neerslag en Afvoer. Land bocwkundig Tidschrift 70, 405-421.

9- Dieleman P.J. 1974. Deriving soil hydrological constants from field drainage tests. In: Drainage Principle and

Application, vol. III, Survey and Investigations, International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI) Wageningen, The Netherlands pp. 329-350.
10- F.A.O. 1984. Drainage Testing, Irrigation and Drainage Workshop. NO. 28, Rom, Food and Agriculture Organization, 409 p.
11- . Kacimov A.R. 2000. Comment on the paper An analytical solution for design of bi-level drainage systems by A.K. Verma, S.K. Gupta, K.K. Singh, H.S. Chauhan. Agricultural Water Management, 46:193-200.
12- Pandey R.S., and Gupta S.K. 1990. Drainage design equation with simultaneous evaporation from soil surface.ICID Bull. 39 (1), 19-25.
13- Singh P.K., Singh O.P., Jaiswal C.S., and Chauhan H.S. 1999. Subsurface drainage of a three layered soil with slowly permeable top layer. Agric. Water Management. 42, 97-109.
14- Sabti N.A. 1989. Linear and nonlinear solution of the Boussinesq equation for the bi-level drainage problem. Agric. Water Manage. 16, 269-278.
15- Smedema L.K. 1990. Cost effectiveness of soil investigation for pipe drainage projects. Agricl. Water Management. 18, 333-345.
16- Toksoz S., and Kirkham D. 1971. Steady drainage of layered soils. Part I. Theory. J. Irrig. Drain. Div., ASCE 97(1), 1–18.
17- Upadhyaya A, and Chauhan H.S. 2000. An analytical solution for bi-level drainage design in the presence of evapotranspiration. Agricultural Water Management,45: 169-184.
18- USBR. 1984. Drainage manual. A Water Resources Tech. Publication. Second printing. Denver, USA, US Dept. of Interior, Bureau of Reclamation. 286 pp.
19- Verma A.K., Gupta S.K., Singh K.K., and Chauhan H.S. 1998. An analytical solution for design of bi-level drainage systems. Agric. Water Mgmt. 37, 75-92.

Journal of Water and Soil
Vol. 27, No. 1, Mar.-Apr. 2013, p. 1-13

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۷، شماره ۱، فروردین – اردیبهشت ۱۳۹۲، ص. ۱۳-۱

Variations of Water Table Profile and Outflow of Bi-level Drains in a Layered Soil

S. Hamzeh[1]*- A.A. Naseri[2]- H.A. Kashkuli[3]
Received:24-04-2009
Accepted:27-01-2013

Abstract

Two issues of the drainage systems which are less studied in the literature are drainage in layered soils and bi-level derange systems. Hence, it is necessary to do more research in these topics. Therefore the present study was carried out under above conditions in the Imam Khomeini Farming and Industrial Lands, located in the north of the Khuzestan province, Iran. In this area based on primary studies, lateral spacing was estimated about 70 m and they were installed at the depth of 2.1m. But after two years of establish these drainage systems, it was observed that due to existence a soil layer with a very low infiltration rate (less than 10 time in compare with its above and below layers) at the depth of 110 to 160 cm, drainage systems in 500ha of these fields had low performance. Then, in order to overcome with this problem, the implementation of bi-level drainage system was proposed. Hence, a new drain line was installed at the depth of 1.2m between the old drain lines. After establishment of these new drains one field was selected to evaluation the performance of this new system. In the selected field three rows of observation wells were installed (in total 20 observation wells). After equipment of these observation wells, water table fluctuation, inflow and outflow water values from the field were measured in 3 irrigation periods. Then the results of field observations were compared with the obtained results from analytical solution in the literature. Results show with establish new drain lines the problem of these fields are solved and the water table profile will drop-off to the below of root zone in less than 36hr. Also it was concluded that the rate of water table decline by moving from the end of field to the open collector of field will be increased and the discharge of deep drains are more than low-deep rains. Results show that analytical solution is not able to predict the water table profile with well accuracy and predicted values by this equation only in a small area of water table profile were consistent with the observed values in the field. The main reason of this difference was the specific situation of layers of the soil.

Keywords: Drain discharge, Layered soils, Bi-level drainage, Water table, Analytical equations

1 - Assistant Professor of Water Resource Engineering Department, Faculty of Agriculture, Malayer University
(*- Corresponding Author Email: saeidhamzeh@gmail.com)
2 - Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz
3 - Professor of Irrigation and Drainage Department, IAU, Research and Science Branch, Ahvaz