پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

تأثیر نصب سیستم زهکش‌های پلکانی بر وضعیت زهکشی اراضی تحت کشت نیشکر (مطالعه موردی اراضی کشت و صنعت امام خمینی (ره)

عبدعلی ناصری[۱]، سعید حمزه[۲]، حیدرعلی کشکولی[۳]، جعفر آل‌کثیر[۴]

چکیده

در اراضی کشت و صنعت امام خمینی (یکی از واحدهای هفت گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی)، 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 ۲ سال که از احداث زهکش‌ها در مزارع این واحد گذشت، مشاهده گردید که متوسط عملکرد محصول، در حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی این واحد، کمتر از متوسط عملکرد دیگر مزارع نیشکر می‌باشد. بعد از بررسی‌های اولیه چنین نتیجه شد که فاصله و عمق زهکش‌ها در این مزارع بیش از مقدار لازم بوده و به علت وجود یک لایه با نفوذ پذیری کم در عمق حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتیمتری، زهکش‌های موجود به خوبی عمل نمی‌کنند، 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 و در بالای لایه محدود کننده، نصب گردید، و فاصله بین زهکش‌ها به ۳۵ متر تقلیل یافت. جهت بررسی‌های تکمیلی و تعیین عملکرد سیستم زهکش‌های پلکانی یکی از مزارع این واحد که در آن زهکش‌های پلکانی با فاصله ۳۵ متر نصب شده‌اند، انتخاب گردید. سپس در مزرعه مورد نظر سه ردیف چاهک مشاهده‌ای در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده مزرعه، نصب گردید. پس از تجهیز چاهک‌ها و انجام

۱- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز abdalinaseri@yahoo.com
۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز saiedhamzeh@yahoo.com
۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز hakashkuli1@yahoo.com
۴- مدیر اداره مطالعات کاربردی کشت وصنعت امام خمینی«ره»،شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی

مطالعات لایه‌بندی، نوسانات سطح ایستابی، دبی آب ورودی و خروجی از مزرعه و ورود و خروج املاح از مزرعه، به صورت روزانه و طی ۳ نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه مقادیر بدست آمده با استفاده از معادلات و شاخص‌های موجود صورت گرفت. نتایج حاصل از شاخص-های موجود نشان می‌دهند سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی و شوری به خوبی عمل نموده، و مشکل ماندآبی و شوری مزرعه به طور کامل از بین رفته، و مقدار محصول نیز افزایش چشمگیری داشته است. ضمناً تجزیه و تحلیل اندازه‌گیریهای نوسانات سطح ایستابی و مقایسه آنها با مقادیر بدست آمده از معادلات تحلیلی موجود صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد مقادیر بدست آمده از طریق معادلات تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق دارند که علت اصلی آن نیز وضعیت لایه‌ای بودن خاک مزرعه و فرض همگن بودن خاک در معادلات موجود می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زهکش پلکانی، نوسانات سطح ایستابی، ماندآبی، شوری، نیشکر.

۱- مقدمه

توسعه روز افزون جمعیت و نیاز مبرم به آبیاری سبب شده است که مقادیر قابل توجهی از آب به طرق مختلف هدر رفته و به آب‌های زیرزمینی بپیوندد و نتیجه آن نیز در اکثر موارد ماندابی شدن اراضی و یا شور شدن خاک بوده است. به نحوی که در حال حاضر سالانه حدود ۲ تا ٤ میلیون هکتار از اراضی جهان در اثر شور یا زه‌دار شدن از بین می‌رود (٤). لذا بهره‌برداری مجدد از خاک‌های شور و سدیمی در مناطقی که مورد کشت و آبیاری مداوم قرار داشته‌اند، مستلزم اعمال روش‌های مناسب زهکشی و اصلاح این اراضی خواهد بود. به طور کلی در مطالعات طراحی شبکه‌های زهکشی بدلیل عدم وجود تجربه کافی در منطقه مورد مطالعه از روش‌های توصیه شده در منابع علمی خارجی استفاده میگردد که اغلب نتایج مطلوبی را دربر نداشته است. بهترین راه برای فائق آمدن به این مشکلات، احداث مزارع آزمایشی در منطقه مورد مطالعه و یا ارزیابی طرح‌های مناطق مشابه است. 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. یکی از راههای اصلاح چنین سیستمی استفاده از سیستم زهکشی پلکانی است (۸). در این نوع سیستم زهکشی، خطوط زهکش مجاور هم، در دو عمق متفاوت نصب می‌شوند. به نحوی‌که یک سری لوله زهکش به طور یک در میان در ترانشه‌های کم عمق نزدیک به سطح زمین و سری دیگر لوله‌ها در ترانشه‌های عمیق‌تر نصب می‌گردند. با قرار گرفتن زهکش‌ها در دو عمق مختلف حجم حفاری (خاکبرداری و خاکریزی 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). علاوه بر

این در این نوع سیستم زهکشی نسبت به سیستم زهکشی معمولی از زهکشی بیش از حد بین دو خط زهکش جلوگیری به عمل می‌آید. بنابراین جهت اصلاح اراضی می‌توان با تعیین عمق نصب مناسب زهکش‌ها، یک نوع سیستم زهکشی کنترل شده را در مقایسه با حالت معمولی اجرا نمود. از سوی دیگر با توجه به اینکه دبی خروجی در این حالت کمتر می‌شود مسئله مربوط به دفع زه آب‌های شور و نامناسب به محیط زیست نیز کاهش می‌یابد (۹).

سیستم زهکشی در دو عمق مختلف بر خلاف سیستم متداول، از پیشینه تحقیقات کمی بر خوردار است. دبور و چو (۸) 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[1] (۵) برای جریان ناپایدار برای طراحی سیستم زهکش‌های نصب شده در دو عمق مختلف ارائه دادند. سبتی[2] (۱۰) با فرض اینکه سطح اولیه ایستابی به شکل سهمی است، یک روش تحلیلی و یک 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[3] (۱۲) با استفاده از معادله خطی بوسینسک، یک معادله تحلیلی برای سیستم زهکشی در دو عمق مختلف بدست آوردند. آنها نشان دادند که ماکزیمم ارتفاع سطح آب پس از یک آبیاری با گذشت زمان به طرف زهکش کم عمق‌تر پیش می‌رود. آپادهیایا و چوهان[4] (۱۱) با در نظر گرفتن میزان تبخیر و تعرق معادله خطی بوسینسک را به صورت تحلیلی حل نمودند. در این معادلات فرض شده است که بین تغییرات سطح ایستابی و ET یک رابطه خطی وجود دارد. آنها راه حل خود را برای حالات مختلف (مقادیر ثابت ET، تغییر ET با عمق و ET=0) گسترش دادند. سپس حالت خاصی از راه حل پیشنهادی خود را (ET=0) با راه حل ارائه شده توسط ورما و همکاران (۱۲) مقایسه کردند، و مقادیر یکسان افت سطح ایستابی مشاهده گردید.

در ایران رحیمی خوب و همکاران (۳) یک مدل ریاضی از طریق روش عددی تفاضل‌های محدود برای پیش‌بینی وضعیت سطح ایستابی بین دو زهکش زیرزمینی که در دو عمق مختلف نصب شده‌اند، ارائه دادند. آنها نتایج مدل خود را با نتایج مزرعه‌ای ورما و همکاران (۱۲) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده توسط آنها نشان می‌دهد که مدل‌های ریاضی دو بعدی نسبت به روش‌های تحلیلی از دقت بیشتری برخوردارند. علاوه براین آنها در مدل خود تاثیر جریان‌های عمودی در افت سطح ایستابی را مورد بررسی قرار دادند و مشخص گردید، در خاک‌هایی که هدایت هیدرولیکی عمودی خاک قابل توجه است، استفاده از مدل‌هایی که در آنها فقط مولفه افقی جریان آب را در نظر می‌گیرند، سطح ایستابی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند .

1- Bouwer and Van Schilfgaarde
2- sabti
3- Verma et al
4- Upadhyaya and Chauhan

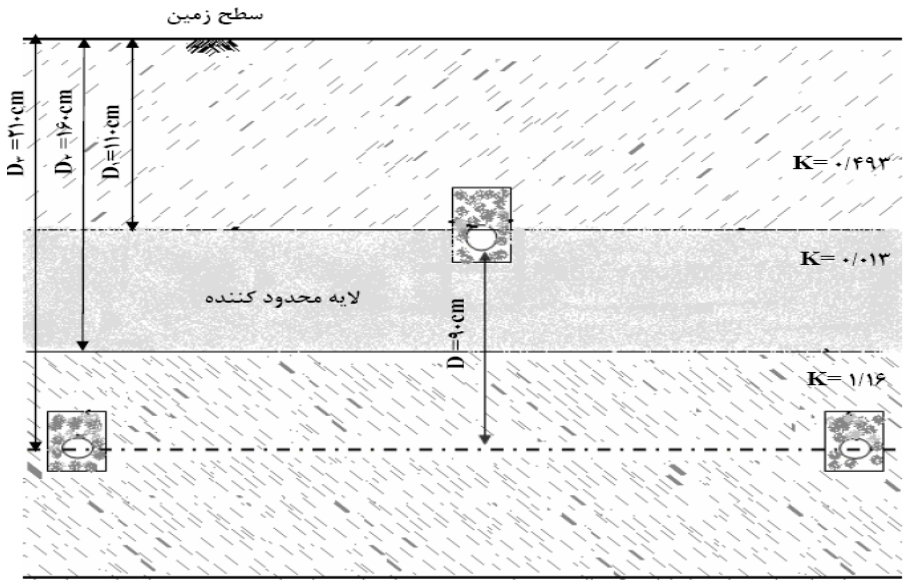
جهت طراحی و نصب زهکش‌های پلکانی و تعیین نوسانات سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش‌ها فرمول‌ها و روش‌های مختلفی ارائه شده است. می‌توان با بهره جستن از این روش‌ها و ارزیابی عملکرد زهکش‌های اجرا شده و بررسی نقاط ضعف و قوت آنها، نگاهی جامع‌تر برای طرح‌های آینده در اختیار برنامه ریزان و طراحان قرار داد. در این مقاله عملکرد زهکشهای پلکانی احداث شده در اراضی کشت وصنعت امام خمینی واقع در شعیبیه شوشتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در واحد امام خمینی (ره) یکی از واحدهای هفتگانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی به اجرا درآمد. منطقه مورد مطالعه در ٤٠ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ٥٠ کیلومتری شمال اهواز قرار گرفته است. اراضی این واحد به قطعات منظم ۲۵ هکتاری (۱۰۰۰×۲۵۰ m) تقسیم شده است. و مجموعاً دارای ٤٨٠ مزرعه ۲۵ هکتاری می‌باشد.

۲-۱- نصب زهکش‌های پلکانی

بعد از مطالعات اولیه طراحی، فاصلهٔ زهکش‌ها در اکثر اراضی کشت و صنعت امام خمینی ۷۰ متر برآورد گردید و زهکش‌ها نیز با همین فاصله و در عمق متوسط ۲/۱ متری نصب گردیدند، اما بعد از چند سال که از احداث زهکش‌ها در این مزارع گذشت، مشاهده گردید که متوسط عملکرد محصول در حدود ٥٠٠ هکتار از اراضی، کمتر از متوسط عملکرد دیگر مزارع نیشکر می‌باشد. لذا جهت بررسی‌های دقیق و اجمالی و پیدا کردن منشاء اصلی مشکل یکی از مزارع مورد نظر (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 ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتیمتری هدایت هیدرولیکی لایه خاک نسبت به لایه بالاتر بین ۱۰ تا ٤٠ برابر کاهش داشته است. این پدیده موجب شده بود که لایه تحتانی به‌عنوان یک لایه محدود کننده (لایه نفوذ ناپذیر) عمل نماید. علی‌رغم 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 نبوده، و در نتیجه آن ماندابی و شور شدن لایه سطحی این اراضی اتفاق افتاده بود. در اثر ماندابی و شور شدن لایه سطحی و بر اثر آن کاهش محصول، بهره برداری از این اراضی را غیراقتصادی کرده بود. پس از بررسی‌های مذکور برای حل مشکل، مقرر گردید که سه لترال جدید در عمق متوسط ۱/۲ متری سطح زمین و در فواصل بین چهار لترال قدیمی نصب گردد. شکل (۱) وضعیت استقرار زهکش‌های عمیق و جدید نسبت به لایه محدود کننده را نشان می‌دهد.



شکل(۱): موقعیت و محل قرار گیری زهکش‌ها و لایه‌های خاک.

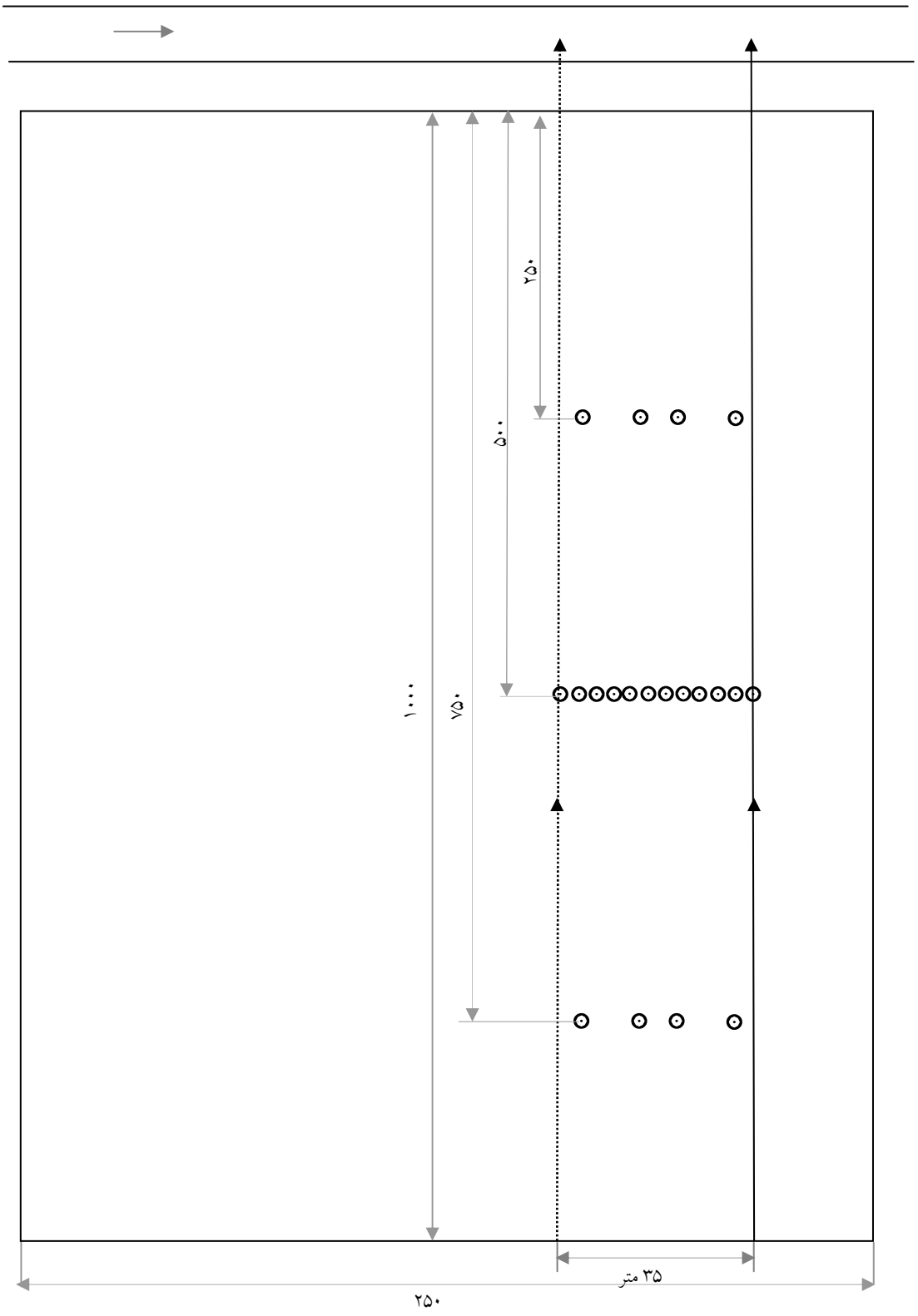
پس از نصب زهکش‌های جدید، به منظور دفع نمک‌های اضافی از پروفیل خاک، در تاریخ ۸۱/۱۰/۲٦ عملیات آبشویی مزرعه آغاز گردید. این مزرعه در تاریخ ۸۲/۲/۵ قطع آب کامل گردید. جمعاً ۱/۰۵ متر آب به این مزرعه جهت آبشویی املاح تجمع یافته در پروفیل این اراضی، به خاک اضافه شد. سپس مزرعه مذکور برای کشت نیشکر در شهریور ماه ۱۳۸۲ آماده شد. پس از تهیه زمین، سه واریته نیشکر در این مزرعه کشت شد. سپس جهت تکمیل ارزیابی، مطالعه سطح آب زیرزمینی مورد توجه واقع گردید.

۲-۲- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

جهت بررسی روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی در مزرعه مورد نظر تعداد ۲۰ عدد چاهک مشاهده‌ای در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده مزرعه ودر فواصل دو لترال (لترال‌های عمیق و کم‌عمق) نصب گردید (شکل ۲). به نحوی که در هر یک از فواصل ۲۵۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده روباز مزرعه، ٤ عدد چاهک مشاهده‌ای به فواصل ۵ و ۱۵ متری از زهکش‌های عمیق و کم عمق نصب گردید شکل(۳). در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی، ۱۲ عدد چاهک مشاهده‌ای نصب گردید. محل استقرار چاهکها روی خود لوله‌های زهکش و به فاصلهٔ ۰/۵ متری و ۱/۵ متری از آنها، و سایر چاهک‌ها نیز در فاصله بین دو خط زهکش عمقی و کم‌عمق و به فواصل ۵ متری از یکدیگر نصب گردیدند (شکل ٤). در نهایت با استفاده از دوربین نقشه‌برداری محل چاهک‌ها نسبت به بنچ مارک محل ترازیابی شد.

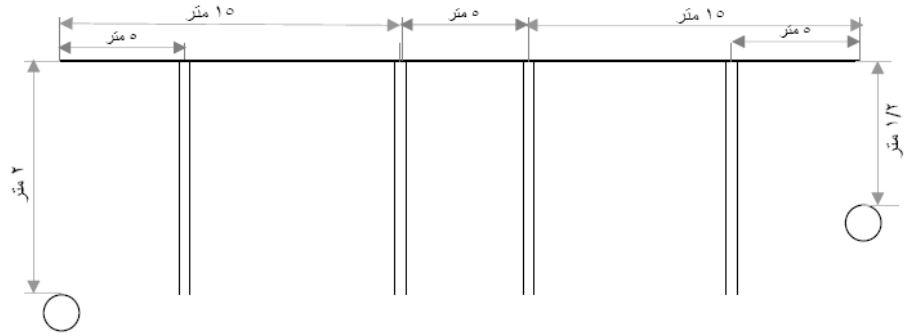
پس از تجهیز چاهک‌ها و فراهم‌آمدن امکان قرائت سطح ایستابی، نوسانات سطح ایستابی و دبی آب خروجی از مزرعه به طور روزانه از تاریخ ۱۳۸٦/٤/۱ تا ۱۳۸٦/۵/۳ به مدت سه دوره آبیاری ثبت شدند. جهت قرائت سطح آب درون چاهک‌ها از عمق سنج الکتریکی استفاده گردید و اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها نیز از روش حجمی و با استفاده از یک سطل و کورنومتر به صورت روزانه و در سه نوبت

صبح، ظهر و عصر صورت گرفت. همچنین جهت تعیین لایه‌بندی و اندازه‌گیری ضرائب آبگذری خاک مزرعه آزمایشی در نقاط مختلف، جمعاً در ۳ ایستگاه به فواصل ۲۵۰ ، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از کلکتور و در هر ایستگاه ۳ چاهک با اعماق ۱۱۰، ۱۷۰ و ۲۵۰ سانتیمتری، حفاری شد. در روز بعد از آبیاری هدایت هیدرولیکی اشباع کلیه چاهک‌ها با سه تکرار و از طریق روش ارنست تعیین گردید. لازم به یادآوری است که قبل از نصب زهکشهای پلکانی، جهت تعیین دقیق هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های فوقانی خاک از نتایج بدست آمده از روش پرمامتر گلف برای اعماق cm ۱۰۰-۰ و cm۱۵۰-۱۰۰ استفاده گردید.

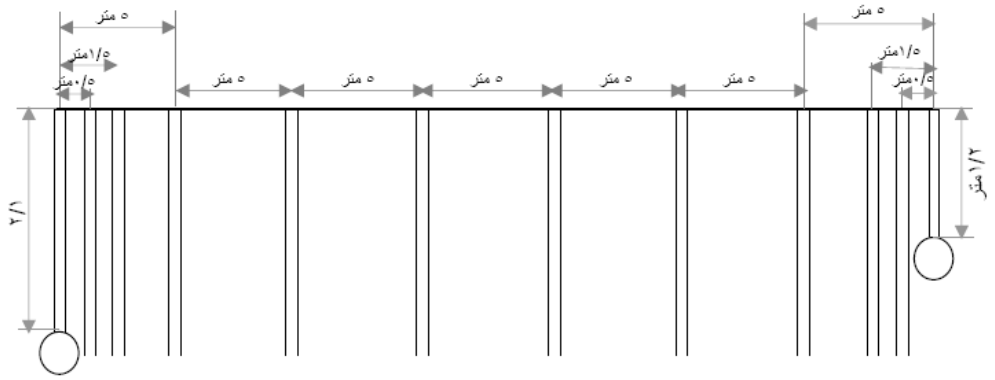


شکل (۲) موقعیت استقرار چاهک‌های مشاهده‌ای در مزرعه

در زمان اندازه‌گیری دبی آب آبیاری و دبی خروجی زهکش‌ها، از آب آنها برای به دست آوردن مقدار EC، نمونه‌برداری به عمل آمد و بعد از انتقال به آزمایشگاه، توسط دستگاه EC متر، میزان شوری آب آبیـاری و زه‌آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی اندازه‌گیری شد.



شکل (۳): محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده‌ای نسبت به لوله‌های زهکش
در فواصل ۲۵۰ و ۷۵۰ متری از کلکتور



شکل (٤): محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده ای نسبت به لوله‌های زهکش
در فاصله ۵۰۰ متری از کلکتور

در نهایت جهت تعیین روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی، با استفاده از داده‌های برداشـت شـده از قرائـت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای، تغییرات پروفیل سطح ایستابی در فاصله بین زهکش‌های عمیـق و کـم عمق نسبت به زمان و مکان و در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از محل خروجـی لاتـرال‌هـا بـه کلکتـور، ترسیم شد و این مقادیر با مقادیر بدست آمده از معادله تحلیلی آپادهیا و چوهـان (۲۰۰۰) مـورد ارزیـابی قرار گرفت. معادله عمومی ارائه شده توسط این دو محقق به صورت زیر می‌باشد.

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

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)، k متوسط هدایت هیدرولیکی منطقه جریان (L/T)، 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})، $\alpha = KD/f$ و $\beta n = n\pi/L$ می‌باشد. جهت انجام محاسبات و تعیین پروفیل سطح ایستابی، معادله فوق به صورت یک برنامه کامپیوتری درمحیط برنامه نویسی MATLAB و جهت محاسبه فاصله زهکش‌های پلکانی یک برنامه کامپیوتری به زبان برنامه نویسی Fortran نوشته شد.

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:

$$\%Error=\frac{X_O-X_C}{X_O}\times 100 \qquad (۲)$$

که در آن Xo مقدار مشاهده شده در مزرعه و Xc مقدار برآورد شده توسط معادله تحلیلی می‌باشد.

۳- نتایج و بحث:

جهت ارزیابی نحوه عملکرد سیستم زهکشی پلکانی مزرعه مورد مطالعه از شاخص‌های مختلف موجود در این زمینه استفاده گردید. که در زیر نتایج حاصل از داده‌های برداشت شده از مزرعه، و مقادیر بدست آمده از شاخص‌های موجود در هر قسمت ارائه شده است.

۳-۱- لایه بندی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

نتایج حاصل از تعیین هدایت هیدرولیکی و لایه بندی خاک نشان می‌دهند که خاک مزرعه مورد نظر از سه لایه با مقادیر مختلف هدایت هیدرولیکی تشکیل شده است که نتایج آن در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) : نتایج حاصل از اندازه گیری 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)
۰–۱۰۰	–	۰/۹٦۹	۰/٤۳۹	۰/۷۱۲	۰/۲۳۷۸	۰/۷۱
۱۰۰–۱۵۰	–	۰/۰۲۷۹	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱٤۳	۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۵۷
۱۵۰–۲۵۰	۱/۲٦	۱/۱۷	۱/۰۷	–	–	–

لذا با توجه به جدول فوق، در این تحقیق جهت انجام محاسبات، برای لایه‌های اول و دوم از داده‌های پرامتر گلف و برای لایه سوم از داده‌های چاهک استفاده گردید. که 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. ومقدار μ با توجه به گرافی که ارتباط بین ضریب آبگذری و آبدهی ویژه را نشان می‌دهد و با در نظر گرفتن هدایت هیدرولیکی دو لایه فوقانی که نوسانات سطح ایستابی در این محدوده اتفاق می‌افتد برابر ۵ درصد بدست آمد.

۳-۲- عمق کنترل سطح ایستابی

در مطالعات اولیه طرح توسعه نیشکر عمق کنترل سطح ایستابی جهت جریانهای غیر ماندگار ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است. این در حالی است که به دنبال عملکرد نامناسب زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی براساس مطالعات صورت گرفته تغییرات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در سال‌های ۱۳۸۰ و ۸۱ از طریق چندین چاهک مشاهده‌ای در قسمت‌های مختلف مزرعه در طول دوره آبیاری نیشکر نشان می‌دهد که عمق سطح ایستابی به طور متوسط کمتر از یک متر بوده است. بالا آمدن سطح ایستابی موجب افزایش شوری لایه سطحی شده که برای حل مشکل، سیستم زهکش پلکانی نصب گردید. جهت بررسی عملکرد سیستم جدید بر کنترل سطح ایستابی با توجه به متوسط مقادیر قرائت شده در چاهک‌های واقع در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از کلکتور منحنی‌های نوسانات عمق سطح ایستابی در فواصل مختلف از کلکتور و برای سه دوره آبیاری رسم گردید. منحنی‌های مزبور درشکل‌های (۵) تا (۷) ارائه شده است.

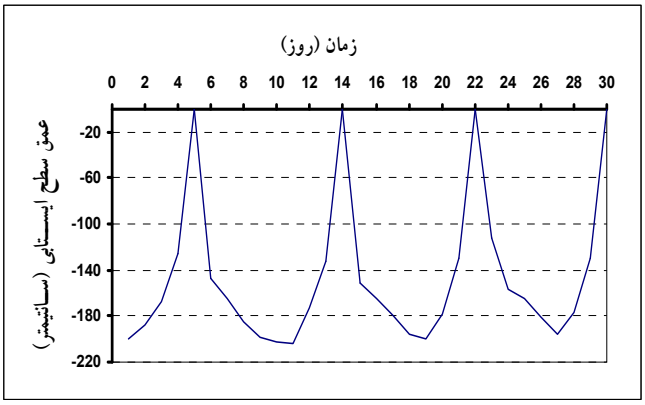
همچنین جهت ارزیابی عملکرد زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی از شاخص RGWD (عمق نسبی آب زیرزمینی)[1] استفاده کرد که به صورت زیر تعریف می‌شود (۱۳):

$$RGWD \quad \frac{\text{متوسط عمق سطح ایستابی در طول فصل}}{\text{عمق مطلوب سطح ایستابی در طول فصل}} \qquad (۳)$$

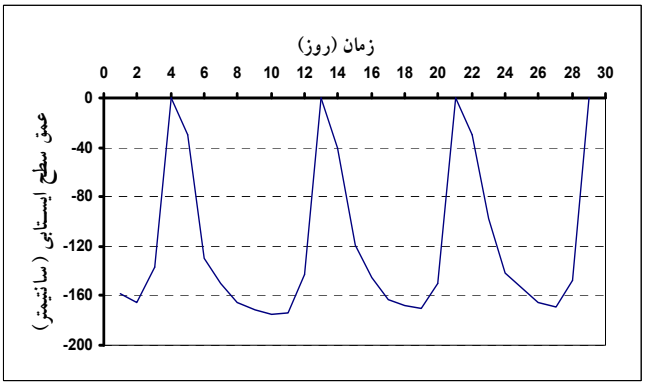
1- Relative Ground Water Depth

مقدار بهینه و مطلوب این شاخص یک است و می‌تواند در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ قرار گیرد که مقادیر زیاد آن نشان دهنده زهکشی زیاد و مقادیر کمتر از حد آن به معنی زهکشی ضعیف است. مقادیر این شاخص، با در نظر گرفتن عمق مطلوب سطح ایستابی برای کشت نیشکر معادل ۱/۲ متر، در فواصل مختلف از کلکتور و همچنین متوسط مقادیر در کل طول لاترال محاسبه گردید، که نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

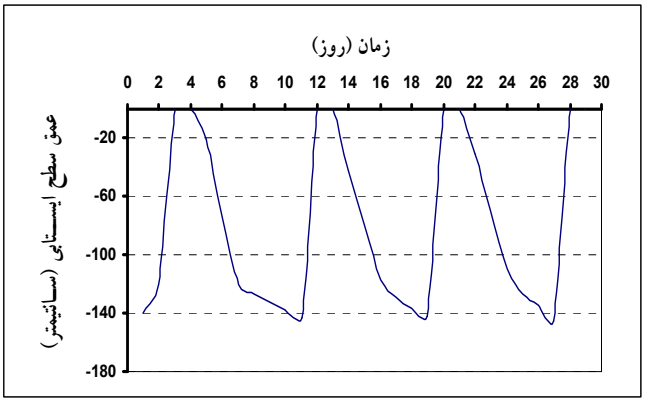
همچنان‌که از نتایج جدول (۲) و شکل‌های (۵) تا (۷) مشخص است زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی به‌خوبی عمل نموده‌اند. اگر چه تجربه نشان داده است که توسعه ریشه نیشکر در حدود ۰/۸ متر صورت میگیرد و عمق کنترل سطح ایستابی در حدود یک متر کفایت می کند. نکتهٔ دیگری که از نتایج مشهود می‌باشد این است که عمق سطح ایستابی به سمت کلکتور یا محل تخلیه لاترال، بیشتر می‌شود که دو دلیل اصلی این امر یکی افزایش عمق به سمت کلکتور و دیگری نقش کلکتورها یا جمع‌کننده‌های روباز در کنترل سطح ایستابی است که در طراحی‌ها این نقش در نظر گرفته نمی‌شود.



شکل (۵)- نوسانات عمق سطح ایستابی در فاصله ۲۵۰ متری از کلکتور



شکل (٦)- نوسانات عمق سطح ایستابی در فاصله ۵۰۰ متری از کلکتور



شکل (۷)- نوسانات عمق سطح ایستابی در فاصله ۷۵۰ متری از کلکتور

جدول(۲): نتایج شاخص RGWD در مزرعه آزمایشی

فاصله از کلکتور	۲۵۰ متر	۵۰۰ متر	۷۵۰ متر	متوسط طول لترال
متوسط عمق سطح ایستابی در طول دوره	۱۵۲	۱۲۲	۸۱	۱۱۸/۳
مقدار شاخص RGWD	۱/۲۶	۱/۰۱	۰/۶۷	۰/۹۹
عملکرد سیستم در کنترل سطح ایستابی	خوب	خوب	متوسط	خوب

۳-۳- بررسی میزان نمک ورودی و خروجی از مزرعه (ناحیه ریشه)

جهت ارزیابی سیستم زهکشی در کنترل نمک، شاخص SEI (شاخص نمک خروجی)[1] به کار برده شد، که به صورت رابطه (٤) در زیر تعریف می‌گردد:

$$SEI = \frac{(\text{نمک خروجی} - \text{نمک ورودی})}{(\text{نمک ورودی})} \qquad (٤)$$

مقدار این شاخص بایستی در طول اجرای سیستم کمتر یا مساوی صفر باشد (یعنی نمک خروجی بیشتر از نمک ورودی باشد). شاخص SEI برای مزرعه مورد نظر برای سه نوبت آبیاری مورد مطالعه و به صورت متوسط دوره محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۳) آمده است. در تعیین این شاخص حاصل

1. Salt Export Indicator

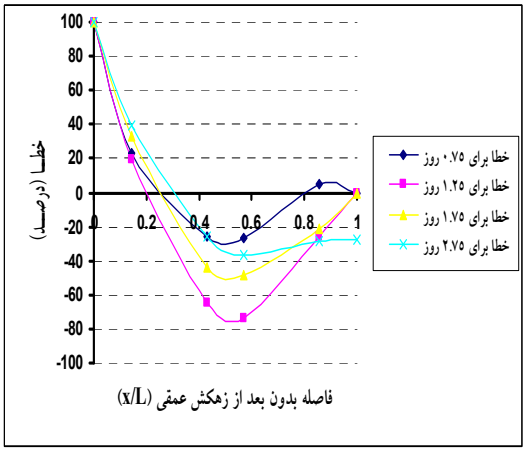
ضرب متوسط شوری آب آبیاری (dS/m) در میزان حجم آب ورودی به مزرعه در طول دوره (m^3) ضرب در ۰/۰٦٤ به عنوان نمک ورودی (Kg)، و متوسط شوری زه آب خروجی (dS/m)، ضرب در حجم زه‌آب خروجی در طول دوره ضرب در ۰٦٤/ ، نیز به عنوان نمک خروجی در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج جدول (۳) در هر سه نوبت آبیاری و در کل دوره داده برداری که در زمان پیک دوره آبیاری مزارع نیشکر بوده، این شاخص منفی و دارای مقدار متوسط ۲/۱۱۹- بوده است. که این امر نشان دهندهٔ عملکرد مناسب سیستم زهکش‌های پلکانی در خروج نمک از ناحیه ریشه می‌باشد. در حالی که بر اساس گزارشات موجود قبل از احداث این زهکش‌ها زمین با مشکل اساسی ماندآبی و شوری همراه بوده است.

جدول(۳): نتایج شاخص SEI در مزرعه آزمایشی

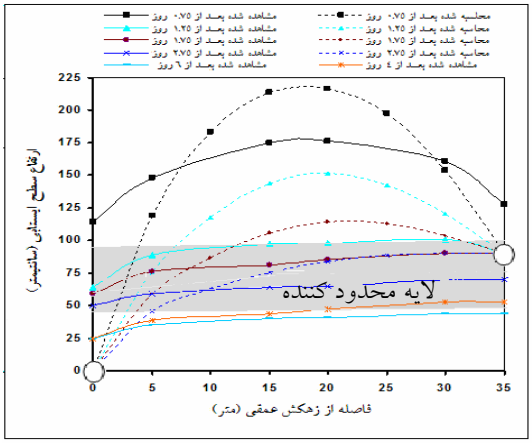
نوبت آبیاری	کل نمک ورودی (Kg) V(in)×EC(in)	کل نمک خروجی (Kg)	میزان شاخص SEI
آبیاری اول	۲٤٥۱/٤٥	۹۰۹۷/۷۰	-۲/۷۱۱
آبیاری دوم	۲٥۷۷/٥٤	۸٤۲٦/٥۸	-۲/۲٦۹
آبیاری سوم	۳۰٦۱/۸٤	۸۲۸٦/۹۰	-۱/۷۰٦
مجموع دوره	۸۰۹۰/۸٤	۲٥۸۱۱/۱۹	-۲/۱۱۹

۳-۴- روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی

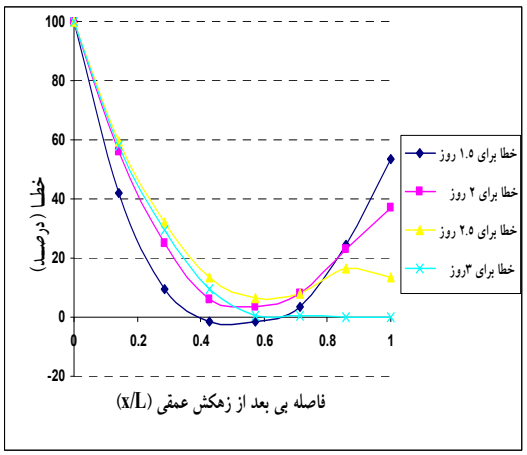
شکل‌های (۸) تا (۱۳) موقعیت پروفیل سطح ایستابی واقعی بدست آمده از قرائت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای و سطح ایستابی محاسبه شده توسط معادله (۱) با توجه به داده‌های برداشت شده از مزرعه آزمایشی، و نیز منحنی نحوه تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی را نشان می‌دهند. همچنین جهت بهتر نشان دادن نتایج، موقعیت لایه محدود کننده جریان در نمودارها به صورت پس زمینه نشان داده شده است.



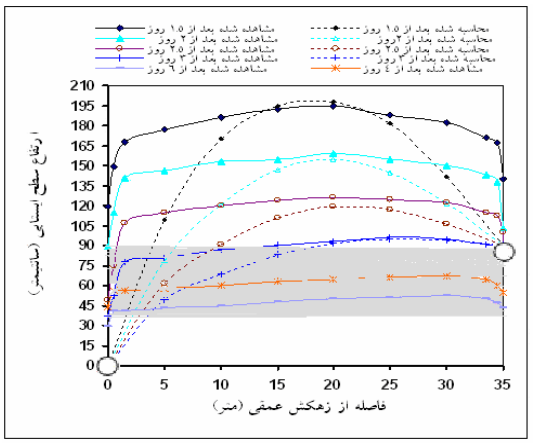
شکل(۹)-منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی در فاصله ۲۵۰ متری از خروجی



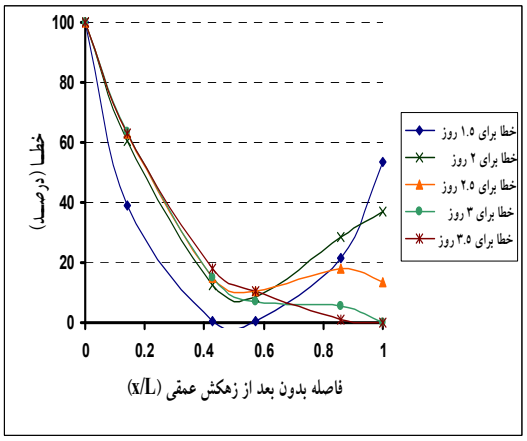
شکل(۸)-پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده در فاصله ۲۵۰ متری از خروجی



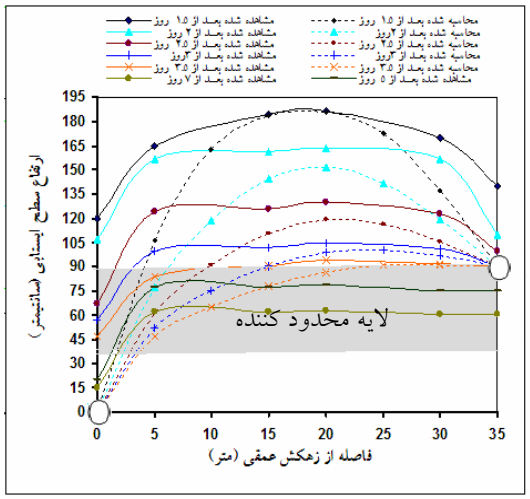
شکل(۱۱)-منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی



شکل(۱۰)-پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی



شکل(۱۳)-منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی در فاصله ۷۵۰ متری از خروجی



شکل(۱۲)-پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده در فاصله ۷۵۰ متری از خروجی

نکات و مواردی که در این مقادیر، شکل‌ها 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 ماکزیمم ارتفاع سطح آب پس از یک آبیاری 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 خاک توسط زهکش‌های واقع در عمق یکسان اما با فاصله دو برابر فاصله زهکش‌های پلکانی صورت می‌گیرد.

ب) 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. این نکته از روی منحنی خطاها برای هر وضعیت نیز مشاهده می‌گردد. دلایل ممکن این تغییرات را می‌توان این‌گونه بیان کرد:

به طور ساده مدل‌های تحلیلی معمولاً برای مسائل ساده و تک‌بعدی به کار برده می‌شوند و به دلیل استفاده از فرضیات ساده کننده در حل این معادلات، نتایج به دست آمده از آنها با شرایط طبیعی کاملاً سازگار نمی‌باشد . 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 ایزوتروپ و همگن بودن خاک 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 خاک موجود در بالای لایه غیر قابل نفوذ می‌باشد. لذا در جاهایی که خاک مزرعه مورد نظر مطبق می-باشد، به ناچار جهت انجام محاسبات از طریق این معادلات مجبور به استفاده از میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف می‌باشیم. که البته این موضوع باعث ایجاد خطا و اختلافی در مقادیر واقعی و محاسبه شده می‌گردد. این موضوع یکی از ضعف‌های بزرگ این قبیل معادلات تحلیلی می‌باشد. همانطور که اشاره شد بعد از انجام مطالعات اولیه خاک شناسی مشخص شد که خاک مزرعه آزمایشی مورد نظر از سه لایه با ضرایب آبگذری مختلف تشکیل شده است. که این مسئله باعث تغییر الگوی مسیر خطوط جریان به سمت زهکش‌ها می‌گردد. این لایه مخصوصاً 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. اما به دلیل عدم وجود معادله و برنامه مناسبی برای این حالت خاص که بتوان در آن وضعیت لایه ای بودن خاک را منظور نمود جهت انجام محاسبات و بررسی نحوه تغیرات پروفیل سطح ایستابی از طریق معادلات تحلیلی موجود از میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی لایه‌های

مختلف استفاده شد. که این موضوع یکی از دلایل مهم اختلاف موجود بین مقادیر مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده توسط راه حل تحلیلی مورد نظر می‌باشد.

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

همانطور که قبلاً اشاره شد جهت تعیین معادلات در سیستم‌های زهکشی جهت ساده سازی انجام محاسبات یک سری فرضیات خاص در نظر گرفته می‌شود که یکی از این قبیل فرضیات مربوط به زهکش آرمانی این است که زهکش به صورت نیمه پر و بدون مقاومت ورودی در برابر جریان، عمل می‌کند (در شرایط ایده آل $h_e=0$ است). و بطور کلی فرض می‌شود که مواد همجوار زهکش (مواد پوششی و خاک‌های ریخته شده به درون ترانشه) در مقایسه با خاک دست نخورده 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 خالی کامل 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.

این معادلات همچنین مقاومت شعاعی جریان ورودی به زهکش‌ها 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 (d)، به جای عمق واقعی لایه غیر قابل نفوذ به کار گرفته می‌شود. طبق نظرات وان شیلف‌گارد، کاربرد عمق معادل هوگهات به جای عمق واقعی تا لایه غیر قابل نفوذ، می‌تواند تا حدی ضعف معادلات دیفرانسیل اولیه را 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.

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 می‌سازد تا با در نظر گرفتن خطوط جریان به صورت افقی و موازی، جریان دو بعدی را یک جریان یک بعدی فرض نماییم. که 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. این قبیل فرضیات باعث می‌شود که معادلات تحلیلی موجود مقادیر ارتفاع سطح ایستابی را کمتر از حالت واقعی محاسبه کنند و باعث ایجاد خطا در مقادیر واقعی و محاسبه شده می‌شوند. در این تحقیق نیز با توجه به اینکه براساس محاسبات انجام شده در زیر عمق نصب زهکش‌ها لایه غیر قابل نفوذی مشاهده نگردیده طبق مباحث گفته شده این مقادیر خطا بیشتر خواهد بود. و می‌تواند یکی از دلایل عدم همخوانی مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده باشد.

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

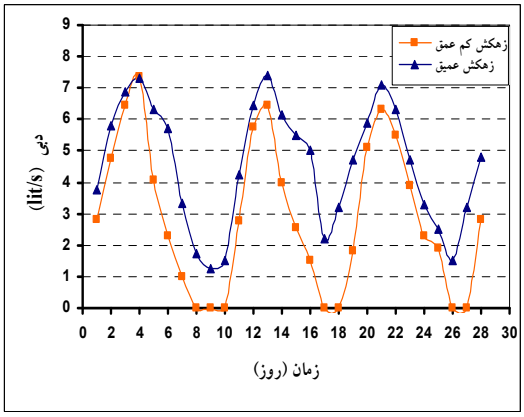
یکی دیگر از فرضیات در نظر گرفته شده توسط آپادهیا و چوهان (۲۰۰۰) جهت حل تحلیلی معادله بوسینسک برای زهکش‌های پلکانی این بود که شکل سطح ایستابی قبل از آغاز مرحله زهکشی یعنی در زمان صفر افقی بوده و این سطح در لحظه شروع زهکشی منطبق بر سطح زمین می‌باشد. در صورتی که تحت شرایط واقعی شکل اولیه سطح ایستابی افقی نبوده و شکل واقعی سطح اولیه ایستابی به صورت تابع پارابولیک است. این امر نیز به نوبه خود می‌تواند یکی از نقاط ضعف و منابع ایجاد خطا در انجام محاسبات از طریق این قبیل معادلات تحلیلی باشد.

ج) تاثیر جمع کننده روباز (کلکتور) بر افت سطح ایستابی:

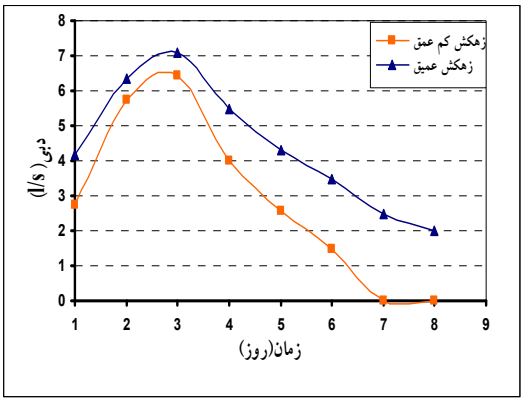
نکته دیگری که از نتایج مشهود می‌باشد این است که عمق و شدت افت سطح ایستابی در حالت واقعی با حرکت از انتهای مزرعه به سمت کلکتور (جمع کننده) روباز افزایش می‌یابد (عمق و شدت افت سطح ایستابی درچاهک‌های واقع در فاصلهٔ ۲۵۰ متری بیشتر از ۵۰۰ متری و در فاصلهٔ ۵۰۰ متری بیشتر از فاصله ۷۵۰ متری است). که این امر بیانگر نقش کلکتورها یا جمع‌کننده‌های روباز در کنترل سطح ایستابی است در صورتی که در محاسبات اولیه طراحی‌ها و معادلات موجود این نقش در نظر گرفته نمی‌شود.

۳-۵- تغییرات دبی زهکش‌ها با زمان

تغیرات زمانی دبی زهکش‌های عمیق و کم عمق برای یک دور آبیاری و همچنین برای مجموع سه دوره آبیاری اندازه‌گیری شده، در شکل‌های (١٤) و (١٥) نشان داده شده است.



شکل (١٥): تغییرات دبی زهکش‌های عمیق و کم‌عمق برای سه دوره آبیاری



شکل (١٤): تغییرات دبی زهکش‌های عمیق و کم‌عمق برای یک دور آبیاری

با توجه به شکل‌های (١٣) و (١٤)، مشاهده می‌شود که دبی زهکش‌ها طی سه روز اول دوره آبیاری، که قسمت اعظم 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 زهکش‌های عمیق و کم عمق 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 و هرچه به انتهای دوره آبیاری نزدیک می‌شویم این اختلاف بیشتر می‌گردد. لازم به توضیح است که زهکشهای عمقی بیشتر آبهای زیرزمینی را تخلیه می کنند نه آبهای اضافی ناشی از آبیاری. بنا براین می‌توان جهت طراحی زهکش‌های کم عمق از لوله با قطر کمتر استفاده نمود. پس به طور کلی می‌توان گفت سیستم زهکش پلکانی در مقایسه با سیستم معمولی به صورت یک سیستم زهکشی کنترل شده عمل می‌کند و مشکل دفع زه-آب‌های اضافی به محیط زیست کاهش می‌یابد. یعنی اگر زهکشهای جدید هم عمق زهکشهای قدیم نصب می شدند، تخلیه غیر ضروری آبهای زیرزمینی بیشتر صورت گرفته و دفع آنها اثرات بیشتری روی محیط زیست خواهد داشت.

۳-۶- عملکرد محصول نیشکر

همان طور که در قسمت‌های قبل ملاحظه شد نتایج نشان می‌دهند که بعد از اجرای این طرح مشکل شوری و ماندابی بودن اراضی برطرف گردیده و سیستم جدید در کاهش سطح آب زیرزمینی از کارایی نسبتاً خوبی برخوردار بوده است. از طرفی شاهد بسیار گویای این مدعا افزایش میزان عملکرد محصول نیشکر، این مزرعه پس از احداث زهکش‌های پلکانی می‌باشد (جدول ٤).

جدول(٤): میزان عملکرد نیشکر قبل و بعد از احداث زهکش‌های پلکانی جدید در مزرعه مورد مطالعه

سال برداشت	تاریخ برداشت	نام واریته	سن	نوع برداشت	هکتار برداشت شده	میزان محصول (ton/ha)
۷۹-۸۰	۷۹/۸/۲۱	CP69-1062	P	ماشینی و دستی	۲۵/۰۲	۸٦/٦
۸۰-۸۱	۸۰/۹/۵	CP69-1062	R1	ماشینی	۲۵/۰۲	۵۳/۹
۸۱-۸۳	به علت انجام عملیات اصلاحی کشت نشده					
۸۳-۸٤	۸۳/۸/۱۰	CP58-614	P	ماشینی	۹/۲۲	۱۱۸/۹
	۸۳/۸/۱۱	NCO-310	P	ماشینی	۲/۵۰	۱۲۹/۹
	۸۳/۸/۱۱	CP48-103	P	ماشینی	۱۲/۹۵	۱۳۹/۱
	۸۳/۸/۱۱	میانگین	P	ماشینی	۲٤/٦۷	۱۳۳/٦٦
۸٤-۸۵	۸٤/۸/۲۰	CP69-1062	R1	ماشینی	۲۵/۰۲	۱۰۵/۸
۸۵-۸٦	۸۵/۹/۱	CP69-1062	R2	ماشینی	۲۵/۰۲	۹۸/۲۳
۸٦-۸۷	۸٦/۸/۱۵	CP69-1062	R3	ماشینی	۲۵/۰۲	٦۸/۲۲

همانطور که از نتایج جدول فوق مشهود است، بعد از نصب زهکش‌های جدید و انجام عملیات آبشویی متوسط وزنی عملکرد این مزرعه ۲۵ هکتاری در سال ۸٤-۸۳ بالغ بر ۱۳۳ تن در هکتار بوده است که نسبت به میانگین محصول مشابه سال ۸۰-۷۹ (پلنت قبل از احداث زهکش‌های پلکانی) به میزان ٤۷/۱ تن در هکتار افزایش عملکرد داشته است. این میزان، افزایش رشدی در حدود ٥٤٪ در عملکرد محصول نسبت به حالت بدون زهکش‌های پلکانی را نشان می‌دهد. همچنانکه مشاهده می‌شود میزان عملکرد در سال‌های ۸٤، ۸٥ و ۸٦ ، یا به عبارتی ۲، ۳ و ٤ سال بعد از نصب زهکش‌های جدید به ترتیب ۱۰٥/۸، ۹۸/۲۳ و٦۸/۲۲ تن در هکتار بوده، که خود گویای افزایش چشمگیر عملکرد نسبت به قبل از احداث سیستم زهکشی جدید می‌باشد. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که علت کاهش عملکرد محصول در سال زراعی ۸۷-۸٦ سرمازدگی محصول در این سال زراعی می‌باشد. که بر اساس گزارشات مرکز تحقیقات و مطالعات کاربردی توسعه نیشکر واحد امام خمینی متوسط تناژ محصول در کلیه سطح زیر کشت این واحد در سال ۸۷-۸٦ به علت سرمازدگی به حدود ۷۱ تن در هکتار رسید. که نسبت به سال‌های قبل حدود ۳۰ تا ٤۰ تن در هکتار کاهش محصول وجود داشته است.

۴- نتیجه‌گیری:

نتایج حاصل از شاخص‌های موجود نشان می‌دهند سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی و شوری به خوبی عمل نموده، و مشکل ماندآبی و شوری مزرعه به طور کامل از بین رفته، و مقدار محصول نیز افزایش چشمگیری داشته است. ادامه ارزیابی می‌تواند با نتایج مربوط به عملکرد نیشکر در بازرویی‌های بعدی تکمیل شود. آنچه مسلم است مطالعه سطح ایستابی و همچنین افزایش عملکرد نیشکر موجب شده است که این توصیه برای سایر مزارع کشت و صنعت امام خمینی (ره) که دچار مشکل مشابهی بودند نیز تعمیم داده شود. نتایج حاصل از این مزارع نیز گویای تأثیر به سزای این نوع سیستم زهکشی در بهبود شرایط زهکشی و افزایش عملکرد محصول آنها می‌باشد. علی ایحال نتایج فوق الذکر چشم اندازی امیدوارکننده برای بهبود وضعیت زهکشی اراضی مشکل دار نمایان می‌سازد.

نتایج حاصل از نوسانات سطح ایستابی نشان می‌دهند سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی به خوبی عمل نموده و سطح آب در مدت زمانی مناسب به عمق توسعه ریشه می‌رسد. همچنین 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 فرض همگن بودن خاک در معادلات موجود می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری دبی زهکش‌های عمیق و کم‌عمق بیانگر این موضوع است که میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمقی همواره بیشتر از دبی زهکش‌های کم عمق می‌باشد و هرچه به انتهای دوره آبیاری نزدیک می‌شویم این اختلاف بیشتر می‌گردد . بنا براین می‌توان جهت طراحی زهکش‌های کم عمق ازلوله با قطر کمتر استفاده نمود.

سپاسگزاری:

از جناب آقای مهندس مجدی مدیرعامل محترم کشت و صنعت امام خمینی (ره) و معاونت محترم ایشان جناب آقای مهندس سلطانی و کلیه کارکنان محترم اداره مطالعات کاربردی آن کشت و صنعت برای فراهم نمودن کلیه امکانات برای این تحقیق تشکر می‌شود. از دفتر تحقیقات آب سازمان آب و برق خوزستان برای حمایت مالی از این تحقیق در غالب قرار داد همکاری با دانشگاه شهید چمران اهواز کمال سپاس را داشته و قدردانی می‌نماییم. از همکاری و حمایت مدیریت و کارکنان محترم دفتر ارتباط با صنعت معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز نیز تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

[۱]. اکرم، م. ۱۳۸۱. مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی زیرزمینی در ایران. مجموعه مقالات نگرشی بر مسائل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی زیرزمینی در ایران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۵۹.

[۲]. بای‌بوردی، م. ۱۳۷۲، اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، انتشارات دانشگاه تهران، ٦٤١ صفحه.

[۳]. رحیمی خوب، ع. ۱۳۸۵، مدل ریاضی جریان آب در زهکش‌های نصب شده در دو عمق مختلف، مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز.

[٤]. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۷۸. مجموعه مقالات کارگاه فنی مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی . نشریه شماره ۲۳.

[5]. Bouwer, H. and Van Schilfgaarde, J., 1963. Simplified method of predicting fall of water table indrained land. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 6(4): 288-291,296.

[6]. Cavelaars, J.C., Vlotman, W.F., and Spoor, G.,1994. Subsurface Drainage Systems, Chapter 21. In : Ritzema, H.P. (Ed.). Drainage Principles and Applications.

[7]. DeBoer, D.W. and Chu, S.T., 1972. Development of bi-level drainage theory, Pap. No. 72-731,presented at the 1972 Winter Meeting, ASAE

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

[9]. F.A.O. 1984. Drainage Testing, Irrigation and Drainage Workshop. NO. 28, Rome, Food and Agriculture Organization, 409 p.

[10]. Sabti, N.A., 1989. Linear and nonlinear solution of the Boussinesq equation for the bi-level drainage problem.Agric. Water Manage. 16, 269-278.

[11]. Upadhyaya, A, Chauhan, H.S. ,2000. An analytical solution for bi-level drainage design in the presence of evapotranspiration. Agricultural Water Management,45: 169-184

[12]. Verma, A.K., Gupta, S.K., Singh, K.K., Chauhan, H.S., 1998. An analytical solution for design of bi-level drainage systems. Agric. Water Mgmt. 37, 75-92.

[13]. Vlotman, W.F., Willardson, L.S. and Dierickx, W., 2000. Envelope Design for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publications 56, Wageningen, The Netherlands. pp. 71-83, 97-117.