مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی/جلد ۹/ شماره ۲/تابستان ۱۳۸۷/ص ۹۴-۸۱

ارزیابی صحرایی شاخص‌های مورد استفاده در طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی (مطالعه موردی: شبکه زهکشی شرکت ران بهشهر)

حامد ابراهیمیان، عبدالمجید لیاقت، مسعود پارسی‌نژاد و مجتبی اکرم*

* به ترتیب دانشجوی دکتری؛ دانشیار دانشکده آب و خاک دانشگاه تهران، نشانی: کرج، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص. پ. ۷۷۸۷۱-۳۱۵۸۷، تلفن: ۲۲۴۱۱۱۹ (۰۲۶۱)، پیامنگار: aliaghat@ut.ac.ir؛ استادیار دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه تهران؛ و مشاور عالی در مسائل آبیاری و زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۸۵/۱۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۲/۲۸

چکیده

با ارزیابی عملکرد سیستم‌های زهکشی اجراشده و بررسی نقاط قوت و ضعف آنها، می‌توان زمینه‌ای به وجود آورد تا برنامه‌ریزان و طراحان نگاهی جامع‌تر برای طراحی بهینه در طرح‌های آینده داشته باشند. این مطالعه، روی شبکهٔ زهکشی در حال بهره‌برداری در منطقهٔ بهشهر اجرا شد. محل اجرای آزمایش شامل سه واحد است. برای ارزیابی عملکرد سیستم زهکشی، دبی و سطح ایستابی بین زهکش‌ها به مدت سه ماه در فصل پاییز سال ۱۳۸۳ اندازه‌گیری شد. برای ایجاد رابطه بین بار هیدرولیکی و دبی برای هر واحد از یک معادلهٔ درجهٔ دوم مشابه فرمول هوخهات استفاده شد. با استفاده از این رابطه، هدایت هیدرولیکی و عمق معادل واقعی مزرعه به‌دست آمد. مقدار هدایت هیدرولیکی محاسبه‌شده برای هر سه واحد بین ۱/۴ تا ۲/۴ متر در روز بود که بیشتر از مقدار هدایت هیدرولیکی طراحی (۰/۶ متر در روز) است. همچنین مقادیر عمق معادل به‌دست آمده نشان داد که ظاهراً زهکش روی لایهٔ غیر قابل نفوذ قرار گرفته است. با استفاده از رابطهٔ گلوور- دام، معادلهٔ افت سطح ایستابی نسبت به زمان به‌دست آمد. با استفاده از این رابطه، ضریب عکس‌العمل و آبدهی ویژه واقعی مزرعه محاسبه شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، مقدار متوسط ضریب عکس‌العمل واقعی مزرعه ۰/۰۸ و بیشتر از مقدار در نظر گرفته شده در مرحله طراحی (۰/۰۴) است، در حالی‌که مقدار متوسط آبدهی ویژه محاسبه‌شده ۵/۷ درصد و کمتر از مقدار در نظر گرفته شده در هنگام طراحی (۷/۷ درصد) است. فاصلهٔ زهکش‌ها از یکدیگر بر اساس نتایج به‌دست آمده بین ۳۰ تا ۳۹ متر تخمین زده شد که از فاصله زهکش‌های اجرا شده (۷۵ متر) کمتر است.

واژه‌های کلیدی

افت سطح ایستابی، دبی تخلیه زهکش، جریان ماندگار و غیرماندگار

مقدمه

برای حفظ پایداری اراضی کشاورزی و محیط زیست، توجه به مسائل زهکشی، پژوهش‌های علمی، و تحقیقات مزرعه‌ای از موضوعاتی است که امروزه ضرورت آن بیش از پیش احساس می‌شود. به رغم پیشرفت‌های نظری بسیاری که در امر زهکشی به دست آمده است، مطالعات موجود نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد، توجه به مسائل نظری متاسفانه نمی‌تواند پاسخگوی نیازها باشد.

© 2011,The Author(s). Published by Agricultural Engineering Research Institute. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

از علل ناکامی طرح‌های اجراشده می‌توان بـه مـسائل زیـر اشاره کرد (Anon, 2002):

- کمی تعداد آزمایش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک در منطقهٔ اجرای طرح،
- دشوار بودن تشخیص دقیق لایهٔ غیر قابل نفوذ،
- دشوار بودن براورد زهکشی طبیعی در خاک،
- دشوار بودن تخمین ضریب زهکشی و آبدهی ویژه.

به طوری که با همهٔ دقت‌هایی که در مباحث نظـری در مطالعات زهکشی طرح‌ها در سطح کشور اعمال می‌شود، در عمل پـس از احـداث شـبکه زهکـشی، عملکـرد شـبکه بـا براوردهای اولیه متفاوت و گـاهی مغـایر اسـت. از ایـن رو، بهترین راه حل فائق‌آمدن بر این مـشکلات، احـداث مـزارع آزمایشی یا ارزیابی طرح‌های مناطق مـشابه اسـت. در ایـن بخش تعدادی از این مطالعات آورده شده است.

واکـر و همکـاران بـه نقـل از منـصوری سـرنجیانه (Mansoori Serenjianeh, 2005) نشان دادند کـه شـدت افت سطح ایستابی بستگی به هدایت هیـدرولیکی خـاک، تخلخل قابـل زهکـشی، و فواصـل زهکـش‌هـا دارد. ایـن محققان در آزمایش‌های خود ۶۰ نوع خاک مختلف ایالـت ایلینوی را انتخاب کردنـد. در کـرت‌هـای تحـت آبیـاری دارای سیستم زهکشی زیرزمینی، بعـد از رسـیدن سـطح ایستابی به سطح زمین آبیاری را قطع و سپس عمق سطح ایستابی و جریان خروجی زهکش‌ها را اندازه‌گیری کردنـد. تخلخل قابل زهکشی، هدایت هیـدرولیکی، و فاصـلهٔ بـین زهکش‌ها را از داده‌های جمع‌آوری‌شده محاسـبه کردنـد و در نتیجه تخلخل قابل زهکشی بـرای اراضـی مـذکور را از ۰/۰۳۴ تا ۰/۰۴۸۳ و هدایت هیدرولیکی را از ۱۹ تا ۶۳/۲ میلی‌متر در روز به‌دست آوردند.

صـفوت (Safwat, 1998) در ارزیـابی سیـستم‌هـای زهکـشی در اراضـی شـمال شـرق دلتـای رودخانـه نیـل، پارامترهای سطح ایستابی، شوری خاک، شوری آب آبیاری و زهکشی، و دبی خروجی از زهکش‌هـای زیرزمینـی را در زمان‌های مختلف سال بررسی کـرد. نتـایج ایـن مطالعـه نـشان داد کـه هـدایت هیـدرولیکی اشـباع واقعـی در خاک‌های رسی دلتای نیل تقریباً دو برابر مقادیر به دسـت آمده با روش چاهک است، عمق لایهٔ غیر قابل نفوذ بیشتر از مقدار پیش‌بینی‌شدهٔ قبلـی و شـدت زهکـشی بـالاتر از مقدار مورد انتظار است.

صـفوت و ریتزمـا (Safwat & Ritzema, 1990) همچنین به ارزیـابی ضـوابط طراحـی شـبکهٔ زهکـشی در حوضهٔ آبریز دلتای رودخانهٔ نیل در مصر پرداختنـد کـه ۹ سال به طول انجامید. در این مطالعه، پارامترهای الگـوی کشت، عملکرد محصول، شـوری خـاک، سـطح ایـستابی، کمیـت و کیفیـت زه‌آب، و فـشار مـضاعف در سیـستم زهکشی زیرزمینی بررسی شد. نتایج ایـن مطالعـه نـشان داد که تمام گونه‌های گیاهی (گندم، پنبه، ذرت، و شبدر) پس از نصب و راه اندازی زهکش‌های زیرزمینی، به شکلی چشمگیر افزایش محـصول داشـته‌انـد. ایـن پژوهـشگران نتیجه گرفتند که برای فراهم‌کردن بهترین شرایط رشـد و نمو برای کلیهٔ گونـه‌هـای گیـاهی کـشت‌شـده لازم اسـت متوسط عمق سطح ایستابی بین زهکش‌ها تا سطح زمـین ۸۰ سانتی‌متر باشد. برای دسـتیابی بـه شـرایط مطلـوب

زهکشی باید لوله‌های زهکشی در عمق ۱/۲ تا ۱/۴ متر نصب شوند.

ریمیدیس و دیریکس (Rimidis & Dierickx, 2003) عملکرد زهکش‌های زیرزمینی را در لیتوانی ارزیابی کردند؛ آنها در مطالعات خود دبی و بار سطح ایستابی را در چهار فصل زراعی اندازه‌گیری و برای بیان رابطهٔ میان بار سطح ایستابی و دبی، از یک معادلهٔ چندجمله‌ای درجهٔ دوم (نظیر معادلهٔ هوخهات) استفاده کردند. شکل معادلات به دلیل بارندگی‌های ناچیزی که در سال‌های دوم و سوم اتفاق افتاد کاملاً متفاوت بود. نتایج نشان داد که زهکش‌ها روی لایه محدودکننده قرار دارند و در نهایت شاخص‌های طراحی موجود راضی‌کننده نیستند و زهکش‌ها در همهٔ واحدها با فاصلهٔ زیاد نصب شده‌اند.

منصوری سرنجیانه (Mansoori Serenjianeh, 2005) به بررسی پارامترهای طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در پروژه آبیاری و زهکشی طرح توسعه نیشکر خوزستان پرداخت. نتایج مطالعات نشان داد که زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی و خروج نمک از نیمرخ خاک موفق عمل کرده‌اند و معیارهای طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی نسبتاً مطلوب بوده است. همچنین مقدار هدایت هیدرولیکی محاسبه شده از ۱/۸۴ تا ۲/۶۱ متر در روز تغییر می‌کند که بیشتر از مقدار طراحی آن (۱/۳۳ متر در روز) است، به طوری‌که مقادیر عمق معادل به دست آمده در نقاط مختلف مزرعه در محدوده ۱/۵۲ تا ۲/۱۲ متر است که اختلاف کمی با مقدار طراحی آن (۱/۷۲ متر) دارد.

استان مازندران بیشترین خاک‌های مسئله‌دار (خاک‌های شور و خاک‌های شور باتلاقی) را دارد، از این رو احداث زهکش‌های زیرزمینی در این خاک‌ها اجتناب‌ناپذیر خواهد بود (Anon, 2002). با ارزیابی عملکرد سیستم‌های زهکشی اجراشده در این استان و بررسی نقاط ضعف و قوت آنها، می‌توان زمینه‌ای فراهم کرد تا برنامه‌ریزان و طراحان برای طراحی بهینه در طرح‌های آینده نگاهی جامع تر داشته باشند. در این خصوص، تحقیق حاضر در اراضی زهکشی‌شدهٔ شرکت ران بهشهر و به منظور بررسی پارامترهای طراحی زهکش‌های زیرزمینی شامل هدایت هیدرولیکی خاک، عمق معادل، ضریب عکس‌العمل، و آبدهی ویژه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

معرفی طرح

اراضی طرح در شمال شرقی شهرستان بهشهر و در حاشیهٔ جنوبی خلیج گرگان واقع است. این منطقه، دارای اقلیم نیمه‌مدیترانه‌ای با تابستان‌های گرم و مرطوب و بارندگی کم، و زمستان‌های معتدل با بارندگی زیاد است؛ متوسط بارندگی سالانه ۵۷۷ میلی‌متر و میانگین دمای سالانهٔ ۱۶ درجهٔ سانتی‌گراد است. هدف طرح، استفاده زراعی از حدود ۸۵۰ هکتار از اراضی بایر، آبگیر، شور و سدیمی نوار ساحلی استان مازندران با عملیات تجهیز و نوسازی و احیای اراضی و توسعهٔ آن برای حدود ۳۰ هزار هکتار از این نوع اراضی در استان بوده است. کشت محصولات در این منطقه (جو و گندم) به صورت دیم است و بنابراین زهکش‌ها فقط در اثر بارش باران فعال خواهند شد. عمق کارگذاری لوله‌های زهکش ۱/۵ متر،

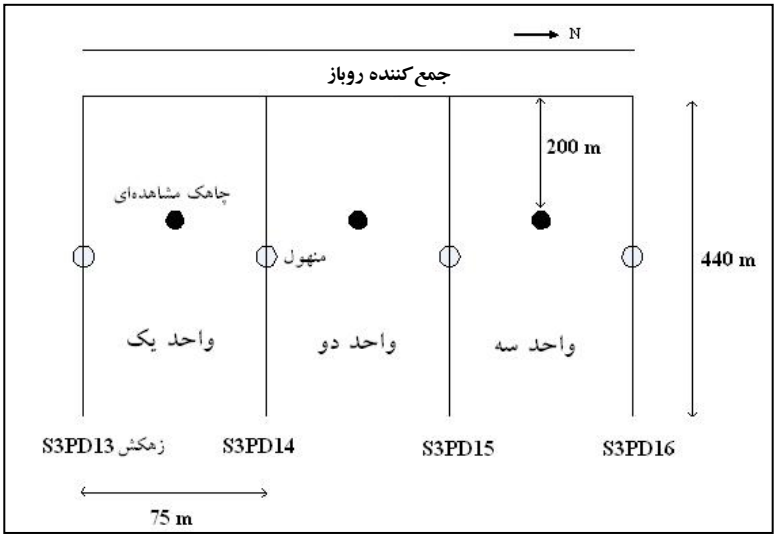
فاصلهٔ نصب زهکش‌ها ۷۵ متر، قطر لوله‌ها ۱۲۵ میلی‌متر، و طول متوسط زهکش‌ها ۴۴۰ متر در نظر گرفته شده است. در این طرح ضریب زهکشی و حد کنترل سطح ایستابی به ترتیب برابر ۱/۵ میلی‌متر در روز و یک متر تشخیص داده شد. مطالعات لایه‌بندی خاک نشان می‌دهد که بافت خاک در لایهٔ سطحی سبک‌تر از لایه‌های عمیق‌تر است (جدول ۱). همچنین در این طرح برای اولین بار در ایران و در سطح کلان از پوسته برنج به عنوان پوشش اطراف لولهٔ زهکش استفاده شده است (Anon, 2002).

جدول ۱- لایه‌بندی خاک مزرعه آزمایشی

عمق (سانتی‌متر)	بافت خاک
۰-۴۰	شن لومی (LSa)
۴۰-۱۰۰	لوم سیلتی (SiL)
۱۰۰-۱۵۰	رس سیلتی (SiCl)

روش اجرای آزمایش‌ها

به منظور بررسی عملکرد زهکش‌ها، سه واحد آزمایشی در مجاورت یکدیگر و هر یک به وسعت ۳/۳ هکتار انتخاب شد، به طریقی که امکان کنترل عملکرد حداقل یک خط زهکش در هر واحد وجود داشته باشد (شکل ۱). مطابق شکل، سه چاهک مشاهده‌ای در حد واسط خطوط زهکش زیرزمینی نصب شد. جهت اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی، از میله فلزی مدرج استفاده شد. دبی خروجی از زهکش‌ها با روش حجمی اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- نقشه مزرعه آزمایشی (بدون مقیاس)

تجزیه و تحلیل داده‌ها

اطلاعات جمع‌آوری‌شده شامل رقوم سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای و میزان جریان خروجی از زهکش‌هاست که روزانه در مهر، آبان، و آذر سال ۱۳۸۳ جمع‌آوری شده است. در آذرماه، به دلیل بارش زیاد باران و مستغرق‌شدن خروجی زهکش فرعی S3PD16، دبی خروجی این زهکش اندازه‌گیری نشد.

فرض بر این است که تنها منبع تغذیه‌کننده آب مزرعه، بارندگی است و هیچ‌گونه فشار آرتزینی در لایه‌های عمیق‌تر به لایه خاک محل کارگذاری زهکش‌ها وجود ندارد و آب دیگری نیز وارد محدوده آزمایش نمی‌شود. همچنین هیچ‌گونه افت سطح ایستابی ناشی از زهکشی طبیعی مشهود نیست. تبخیر- تعرق هم ناچیز در نظر گرفته شده است.

سیستم زهکشی زیرزمینی در این پروژه در دو حالت جریان ماندگار و غیر ماندگار طراحی شده بود، لذا در این مطالعه نیز برخی از عوامل ضروری با توجه به شاخص‌های اندازه‌گیری‌شده در دورهٔ آزمایش و استفاده از معادلات زهکشی، به صورت معکوس در هر دو حالت ماندگار و غیر ماندگار براورد و با مقادیر مورد استفاده در طراحی مقایسه شده‌اند.

شرایط جریان ماندگار

در طراحی بر اساس شرایط جریان ماندگار، عموماً از معادلهٔ درجهٔ دوم هوخهات استفاده می‌شود که به صورت زیر بیان می‌گردد (Alizadeh, 2003):

$$q = \frac{8Kdh}{L^2} + \frac{4Kh^2}{L^2} \qquad (۱)$$

که در آن،

q = ضریب زهکشی (بر حسب میلی‌متر در روز)؛ h = بار سطح ایستابی در نقطهٔ وسط بین دو زهکش (بر حسب متر)؛ K = هدایت هیدرولیکی (بر حسب متر در روز)؛ d = عمق معادل (بر حسب متر)؛ و L = فاصلهٔ بین زهکش‌ها (بر حسب متر) است. عمق معادل تابعی از عمق لایهٔ غیر قابل نفوذ (D)، فاصلهٔ بین زهکش‌ها، و محیط خیس‌شدهٔ

جریان ورودی به لوله (u) است که از روابط زیر محاسبه می‌شود (Alizadeh, 2003):

(۲) (برای شرایطی که $D > \frac{1}{4}L$ باشد)

$$d = \frac{D}{\frac{8D}{\pi L}\ln\frac{D}{u}+1}$$

(۳) (برای شرایطی که $D < \frac{1}{4}L$ باشد)

$$d = \frac{\pi L}{8\ \ln\frac{L}{u}}$$

با توجه به معادله ۱ می‌توان نوشت:

$$q = Ah + Bh^2 \qquad \Rightarrow \qquad \frac{q}{h} = A + Bh \quad (۴)$$

که در آن،

$B = \frac{4K}{L^2}$ و $A = \frac{8Kd}{L^2}$ است.

از ترسیم $\frac{q}{h}$ در مقابل h، خطی مستقیم حاصل می‌شود که با محور افقی زاویهٔ θ می‌سازد، لذا داریم: $\tan\theta = \frac{4K}{L^2} = B$ که با معلوم بودن فاصلهٔ زهکش‌ها، می‌توان پارامترهای هدایت هیدرولیکی و عمق معادل را براورد کرد.

شرایط جریان غیر ماندگار

در حالتی که نوسانات سطح ایستابی در اثر تغذیه خیلی سریع باشد، کاربرد فرمول‌های جریان غیر ماندگار نظیر فرمول گلوور- دام توصیه شده است که به صورت زیر می‌توان آن را بیان کرد (Alizadeh, 2003):

$$\alpha t = \ln\frac{h_{t2}}{h_{t1}} \Rightarrow \alpha = \frac{\ln(h_{t2}) - \ln(h_{t1})}{t} \qquad (۵)$$

که در آن،

t = مدت زمان مشاهده برای رسیدن سطح آب از موقعیت h_{t1} به h_{t2} (بر حسب روز)؛ h_{t2} و h_{t1} = بار هیدرولیکی مشاهداتی در زمان‌های t_2 و t_1 (بر حسب متر)؛ و α = ضریب عکس‌العمل است.

از طرف دیگر می‌توان با محاسبهٔ α، آبدهی ویژه (y_S) را از رابطهٔ زیر به‌دست آورد:

$$y_S = \frac{\pi^2 Kd}{\alpha L^2} \qquad (۶)$$

در صورتی‌که زهکش‌ها روی لایهٔ غیر قابل نفوذ نصب شده باشند، آبدهی ویژه را می‌توان از طریق حجم آب تخلیه‌شده از نیمرخ خاک (W) حاصل از افت سطح ایستابی از h_{t1} به h_{t2} به روش تقریبی محاسبه کرد (Anon, 1986):

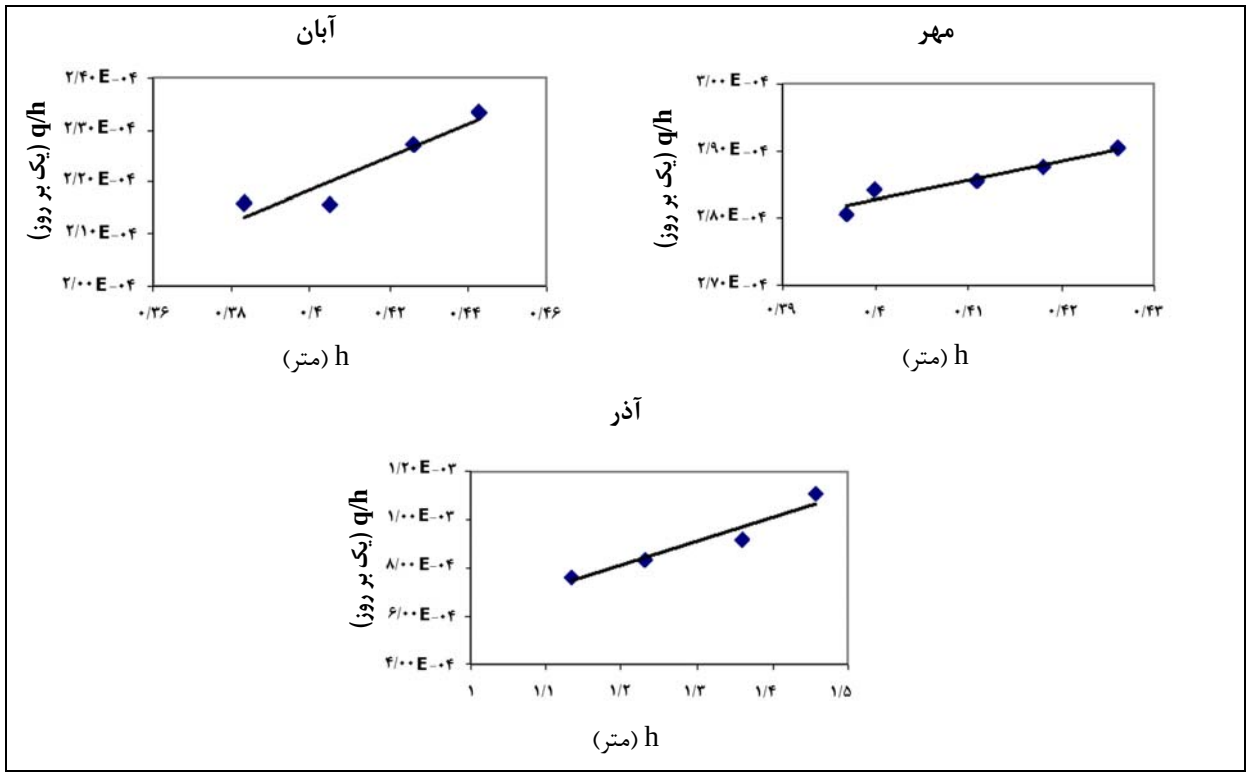
$$W \approx 0.7 y_S (h_{t1} - h_{t2}) \qquad (۷)$$

نتایج و بحث

شرایط جریان ماندگار

با توجه به اطلاعات دبی خروجی از زهکش‌ها و نوسانات سطح ایستابی، رابطهٔ درجهٔ اول بر اساس معادلهٔ ۴ در هر سه واحد و برای ماه‌های مهر، آبان، و آذر برقرار شد. به عنوان نمونه، در شکل ۲ این رابطه برای واحد ۲ نشان داده شده است. همچنین در جدول ۲ ضرایب A و B معادلهٔ رگرسیونی $\frac{q}{h} = Ah + B$ و ضریب تعیین (R^2) برای واحدهای مختلف در هر سه ماه دوره اندازه‌گیری آورده شده است.

در مهر ماه سال ۱۳۸۳ تراز سطح ایستابی (به دلیل بارندگی کم) پایین‌تر از حد کنترل سطح ایستابی (یک متر) بود. با افزایش بارندگی در اواخر آبان و اوایل آذرماه، سطح ایستابی تا سطح خاک صعود کرد که با توجه به شوربودن آب زیرزمینی (تجمع نمک در سطح خاک) و سنگین‌بودن بافت خاک (خیز بالای آب زیرزمینی) موجب شد که گیاهان زراعی در منطقهٔ طرح رشد کافی نداشته باشند (Ebrahimian, 2007).



شکل ۲- رابطهٔ خطی بین $\frac{q}{h}$ و h در واحد ۲ بعد از وقوع یک بارندگی در ماه‌های مهر، آبان و آذر فصل پاییز (شرایط جریان ماندگار)

جدول ۲- ضرایب A و B معادلهٔ رگرسیونی $\frac{q}{h} = Ah + B$ و ضریب تعیین (R^2)

ماه	تعداد مشاهدات	ضریب	واحد		
			۱	۲	۳
		A^*	۰/۴	۰/۳	۱/۵
مهر	۵	B^{**}	-۰/۱	۲	-۳
		R^2	۰/۷۱۱	۰/۹۲۱	۰/۹۳۶
		A	۰/۴	۰/۳	۱/۴
آبان	۴	B	۰/۰۰۵	۰/۹	-۲
		R^2	۰/۹۶۵	۰/۸۶	۰/۹۲۵
		A	۱/۱	۱	۱/۷
آذر	۴	B	-۴	-۴	-۱۳
		R^2	۰/۷۶۰	۰/۹۳۱	۰/۸۳۳

* A ($\times 10^{-3}$ m^{-1} day^{-1})

** B ($\times 10^{-4}$ day^{-1})

با توجه به ضرایب A و B و معادلهٔ رگرسیونی $\frac{q}{h} = Ah + B$ برای واحدهای مختلف در هر سه ماه دورهٔ اندازه‌گیری، مقادیر هدایت هیدرولیکی و عمق معادل محاسبه شد که در جداول ۳ و ۴ آورده شده است:

جدول ۳- نتایج محاسبه هدایت هیدرولیکی در هر سه واحد

واحد	K^* (متر در روز)		
	مهر	آبان	آذر
۱	۰/۵۶	۰/۵۶	۱/۵۴
۲	۰/۴۲	۰/۴۲	۱/۴۱
۳	۲/۱۱	۱/۹۷	۲/۳۹

* مقدار K در طراحی پروژه برابر ۰/۶ متر در روز بوده است.

جدول ۴- نتایج محاسبه عمق معادل در هر سه واحد

واحد	d^* (متر)		
	مهر	آبان	آذر
۱	-۰/۰۱	۰/۰۰	-۰/۱۸
۲	۰/۳۳	۰/۱۵	-۰/۲۰
۳	-۰/۱	-۰/۰۷	-۰/۳۸

* مقدار d در طراحی این پروژه برابر ۳/۰۵ متر در نظر گرفته شده است.

بیشترین مقدار هدایت هیدرولیکی در ماه آذر در هر سه واحد مشاهده شد. بار سطح ایستابی در این ماه بالاترین مقدار بود و این موضوع نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی در لایه‌های بالایی خاک بیشتر از لایه‌های پایینی است؛ مطالعات لایه‌بندی خاک نیز این موضوع را تأیید می‌کند. در واحد ۳، مقدار هدایت هیدرولیکی در سه ماه مهر، آبان، و آذر تقریباً یکسان بود که از یکنواخت‌بودن لایهٔ خاک بالای زهکش در این واحد حکایت دارد. مقدار هدایت هیدرولیکی به‌دست آمده در مهر و آبان در حقیقت بیانگر نفوذپذیری لایه خاک به ضخامت ۰/۵-۰/۴ متر از بالای لوله زهکش است (شکل ۲)، در حالی که هدایت هیدرولیکی به‌دست آمده در ماه آذر نماینده نفوذپذیری لایه خاک به ضخامت ۱/۵-۱ متر از بالای لولهٔ زهکش است (شکل ۲). در حقیقت، هدایت هیدرولیکی واقعی مزرعه همان مقدار به‌دست آمده در آذر است زیرا این مقدار نماینده قسمت اعظم نیمرخ خاک بوده میزان آن برای هر سه واحد از ۱/۴ تا ۲/۴ متر در روز تغییر می‌کند که بیشتر از مقدار طراحی (۰/۶ متر در روز) است.

با توجه به ضرایب رگرسیونی به‌دست آمده (جدول ۲)، قسمت دوم بعضی از معادلات منفی شده که مغایر با معادله هوخهات است. این پدیده ممکن است به دلیل زیادبودن مقاومت جریان نزدیک‌شونده باشد که با حل این معادله، دو مقدار h (بار ایستابی) یعنی $h=0$ و $h>0$ برای حالت $q=0$ حاصل می‌شود. مقادیر منفی عمق معادل (جدول ۴) نشان‌دهندهٔ این واقعیت است که زهکش روی لایهٔ غیر قابل نفوذ قرار گرفته است و در این صورت عمق معادل برابر صفر خواهد شد؛ یعنی جریان آب به داخل زهکش از لایهٔ بالایی سطح زهکش است و جریان بسیار کمی از لایهٔ پایینی وارد لوله زهکش می‌شود. در مطالعات لایه‌بندی خاک در هنگام طراحی، در این اراضی لایهٔ غیر قابل نفوذ در این عمق تشخیص داده نشده و مقدار عمق معادل در هنگام طراحی برابر ۳/۰۵ متر در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه فاصلهٔ زهکش‌ها تابعی از هدایت هیدرولیکی و عمق معادل است، فاصله زهکش‌ها با استفاده از فرمول هوخهات مجدداً برای شرایط جدید (عمق معادل صفر و هدایت هیدرولیکی به‌دست آمده) براورد شد (جدول ۵). فاصلهٔ زهکش‌های بر این اساس بین ۳۰ تا ۳۹ متر به‌دست آمد که از فاصلهٔ فعلی زهکش‌های موجود (۷۵ متر) کمتر است.

در تحقیقی که در منطقهٔ طرح اجرا شده است پوشش زهکشی (پوسته برنج) دارای گرفتگی معدنی است و پدیدهٔ گِل اُخرا در مزرعه آزمایشی مشاهده نشد (Ebrahimian, 2007). شاید گرفتگی پوشش پوستهٔ برنج منجر به نتایج فوق شده و فرض قرارگرفتن لولهٔ زهکش روی لایهٔ غیر قابل نفوذ را کم‌رنگ کند. به هر حال باید مقاومت جریان نزدیک‌شونده را هم بررسی کرد تا دلیل عملکرد نامطلوب سیستم زهکشی مشخص شود.

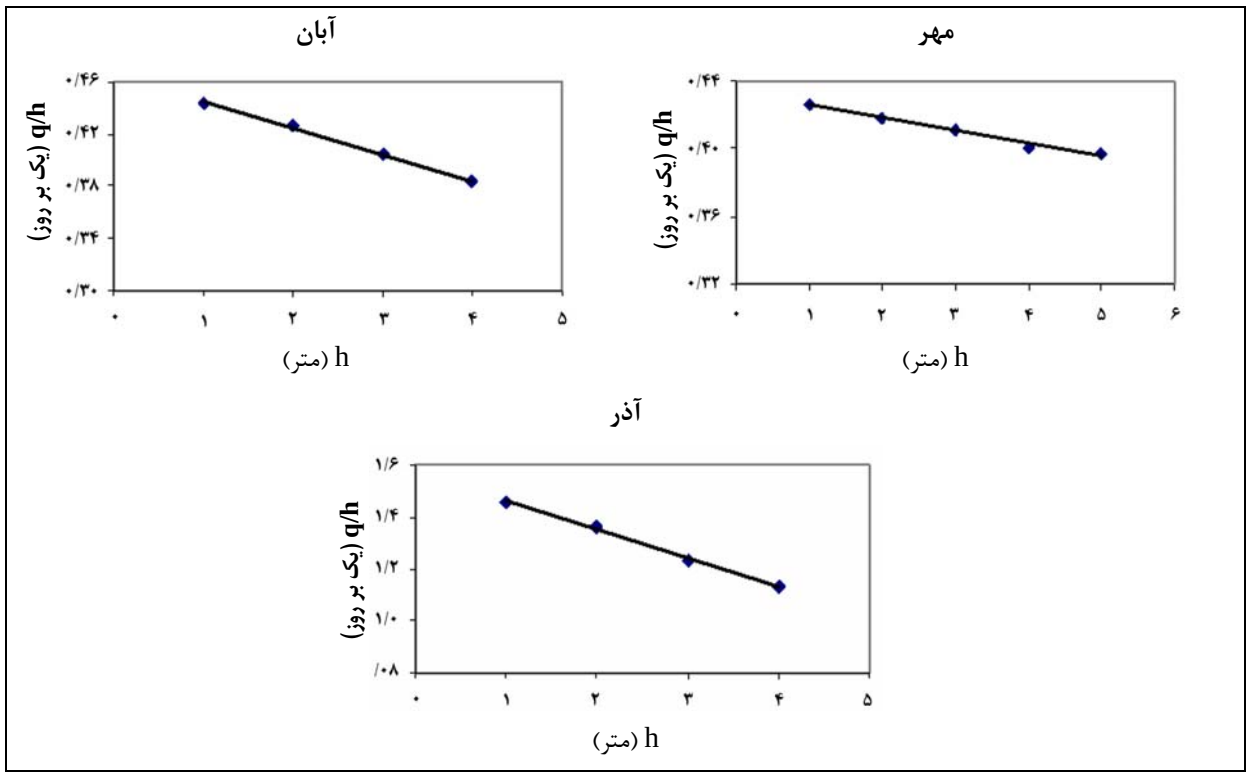
جدول ۵- محاسبهٔ فاصلهٔ زهکش‌ها با استفاده از فرمول هوخهات برای شرایط جدید در هر سه واحد

واحد	K (متر در روز)	d (متر)	q (میلی‌متر در روز)	h (متر)	L* (متر)
۱	۱/۵۴	۰	۱/۵	۰/۵	۳۲/۰
۲	۱/۴۱	۰	۱/۵	۰/۵	۳۰/۷
۳	۲/۳۹	۰	۱/۵	۰/۵	۳۹/۹

* فاصلهٔ زهکش‌ها (L) در طراحی این پروژه برابر ۷۵ متر در نظر گرفته شده است.

شرایط جریان غیر ماندگار

با توجه به اطلاعات نوسانات سطح ایستابی، افت سطح ایستابی طی یک دورهٔ زمانی (بعد از هر بارندگی) رسم شد که در شکل ۳، این رابطه برای واحد ۲ نشان داده شده است. از این نمودارها، رابطهٔ خطی بین بار سطح ایستابی و زمان به‌دست آمد و بر اساس این رابطه، مقدار ضریب عکس‌العمل طبق معادلهٔ ۵ محاسبه شد. همچنین، با فرض اینکه زهکش‌ها روی لایهٔ غیر قابل نفوذ قرار دارند، مقدار آبدهی ویژه از معادلهٔ ۷ قابل محاسبه است. در جدول ۶ ضرایب a و b معادلهٔ رگرسیونی و ضریب تعیین R^2 برای واحدهای مختلف در سه ماه دورهٔ اندازه‌گیری آورده شده است.



شکل ۳- رابطهٔ خطی بین افت سطح ایستابی نسبت به زمان در واحد ۲ بعد از وقوع هر بارندگی در ماه‌های مهر، آبان و آذر (شرایط جریان غیر ماندگار)

جدول ۶- ضرایب a، b و R^2 مربوط به معادله رگرسیونی $h = at + b$

ماه	تعداد مشاهدات	ضریب	واحد		
			۱	۲	۳
مهر	۵	a^*	-۱/۶۰	-۰/۷۶	-۰/۶۶
		b^{**}	۰/۴۹۶	۰/۴۳۳	۰/۳۹۵
		R^2	۰/۹۶۰	۰/۹۸۰	۰/۹۹۷
آبان	۴	a	-۲/۶۷	-۲/۰۱	-۱/۱۳
		b	۰/۴۴۱	۰/۴۶۴	۰/۳۷۳
		R^2	۰/۹۸۰	۰/۹۹۷	۰/۹۸۱
آذر	۴	a	-۱۲/۲۱	-۱۰/۹۹	-۷/۳۳
		b	۱/۵۴۱	۱/۵۶۹	۱/۵۳۹
		R^2	۰/۹۸۴	۰/۹۹۶	۰/۹۹۱

$^* a \ (\times 10^{-2} \ m \ day^{-1})$

$^{**} b \ (m)$

مقادیر محاسبه‌شده ضریب عکس‌العمل و آبدهی ویژه در هر سه واحد در جدول‌های ۷ و ۸ آمده است.

جدول ۷- نتایج محاسبه ضریب عکس‌العمل در هر سه واحد

واحد	α^* (یک بر روز)		
	مهر	آبان	آذر
۱	۰/۰۳۶	۰/۰۷۲	۰/۰۹۹
۲	۰/۰۱۹	۰/۰۴۹	۰/۰۸۵
۳	۰/۰۱۸	۰/۰۳۳	۰/۰۵۴

* مقدار α در طراحی این پروژه برابر ۰/۰۴ در نظر گرفته شده است.

جدول ۸- نتایج محاسبه ضریب آبدهی ویژه در هر سه واحد

واحد	y_s^* (درصد)		
	مهر	آبان	آذر
۱	۱/۰۸	۱/۰۴	۷/۲۸
۲	۳/۴۷	۲/۲۰	۵/۲۵
۳	۳/۶۰	۳/۶۲	۴/۷۰

* مقدار y_S در طراحی این پروژه برابر ۷/۷ درصد در نظر گرفته شده است.

مقدار عددی ضریب عکس‌العمل محاسبه‌شده برای هر سه واحد کوچک است (دامنهٔ ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۹۹ که از ۰/۲ کمتر است) و حکایت از عکس‌العمل ضعیف سیستم زهکشی دارد (Alizadeh, 2003). این موضوع ممکن است به دلیل مقدار کوچک قابلیت انتقال سفره (KD) و فاصلهٔ زیاد زهکش‌ها (Alizadeh, 2003) یا به دلیل گرفتگی پوشش پوسته برنج و زیادبودن مقاومت جریان نزدیک‌شونده باشد (Ebrahimian, 2007). بیشترین مقدار این ضریب در واحد اول و ماه آذر است. مقدار ضریب عکس‌العمل در ماه آذر در حقیقت نشان‌دهندهٔ مقدار واقعی این ضریب برای هر واحد است. زیرا آب از قسمت اعظم نیمرخ خاک جریان پیدا می‌کند و وارد زهکش‌ها می‌شود. ضریب مذکور در این ماه ۰/۰۹۹ و بیشتر از مقدار ضریب عکس‌العمل لحاظ‌شده در طراحی است (که برابر ۰/۰۴ در نظر گرفته شده بود). مقدار متوسط ضریب عکس‌العمل واقعی مزرعه ۰/۰۸ است. در هر سه واحد، بیشترین مقدار ضریب عکس‌العمل در ماه آذر مشاهده شد که این پدیده نیز به بالابودن هدایت هیدرولیکی در لایهٔ بالایی خاک مربوط می‌شود.

مقدار متوسط آبدهی ویژهٔ محاسبه‌شده ۵/۷ درصد و کمتر از مقدار در نظر گرفته شده آن در هنگام طراحی (۷/۷ درصد) است. بزرگترین مقدار آبدهی ویژه در هر سه واحد در ماه آذر مشاهده شد، همچنین مقدار این ضریب در واحد یک مانند ضریب عکس‌العمل بیشترین مقدار را دارا بود. مقدار آبدهی ویژه در این ماه در هر سه واحد کمتر از مقدار ضریب آبدهی ویژه در هنگام طراحی است (که برابر ۷/۷ درصد در نظر گرفته شده بود). در بسیاری از مواقع در مرحلهٔ طراحی زهکش‌های زیرزمینی، میزان آبدهی ویژه از رابطهٔ تقریبی جذر مقدار هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر در روز براورد می‌شود. نتایج آبدهی ویژه به‌دست آمده در این تحقیق انطباق قابل قبولی با این رابطهٔ تقریبی ندارد.

نتیجه‌گیری

این تحقیق در اراضی تحت زهکشی شرکت ران بهشهر و به منظور ارزیابی شاخص‌های مورد استفاده در طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی اجرا شده است. در این مطالعه، هدایت هیدرولیکی محاسبه شده در هر سه واحد تحقیقاتی بیشتر از مقدار در نظر گرفته شده در زمان طراحی به‌دست آمد. همچنین، بر خلاف انتظار به نظر می‌آید که عمق لایهٔ غیر قابل نفوذ در عمق نصب زهکش‌ها واقع شده است. در موقع مطالعات طراحی، این عمق در چهار متری زیر لوله زهکش تشخیص داده شده بود. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که شاخص‌های طراحی چندان رضایت‌بخش نیست که در نتیجهٔ آن فاصلهٔ زهکش‌ها در همهٔ واحدها زیاد در نظر گرفته شده است. دلیل عملکرد نامطلوب سیستم زهکشی ممکن است نصب نامناسب، مصالح زهکشی نامناسب (لوله و پوشش)، و گرفتگی پوشش پوستهٔ برنج نیز باشد که برای ارزیابی این عوامل، باید مقاومت جریان نزدیک‌شونده را اندازه‌گیری کرد.

قدردانی

از قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، معاونت پژوهشی دانشگاه تهران، و شرکت کشاورزی و دامپروری ران بهشهر که امکان اجرای این تحقیق را فراهم کردند سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

Alizadeh, A. 2003. Land Drainage. Ferdowsi University Press. Mashhad. Iran. (in Farsi)

Anon. 1986. Drainage testing. FAO. Irrigation and Drainage Paper. No. 28. Rome.

Anon. 2002. Design report of drainage system of RAN-Sherkat in Behshahr. Nashtak Consulting Engineers. Final Report. Tehran. Iran. (in Farsi)

Ebrahimian, H. 2007. Evaluation of subsurface drainage performance with rice husk envelope (Case study: Behshahr). M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. University of Tehran. Karaj. Iran. (in Farsi)

Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). 2002. An overview to problem of subsurface drainage studies and implementation in Iran. Drainage Working Group. IRNCID Press, No. 59, Tehran, Iran. (in Farsi)

Mansoori Serenjianeh, F. 2005. Evaluation of design parameters of subsurface drainage systems in sugarcane development plan. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture. University of Tehran. Karaj. Iran. (in Farsi)

Rimidis, A. and Dierickx, W. 2003. Evaluation of subsurface drainage performance in Lithuania. Agric. Water Manag. 59, 15-31.

Safwat, A. D. and Ritzema, H. P. 1990. Verification of drainage design criteria in the Nile Delta. Irrig. Drain. Sys. 4, 117-131.

Safwat, A. D. 1998. Performance of some drainage systems in the Nile Delta. ASAE Proceedings of the 7th Annual Drainage.

AERI JAER *Journal of Agricultural Engineering Research/Vol.9/No.2/Summer 2008/P: 81-94*

Field Evaluation of Subsurface Drainage Design Parameters for a Rain Drainage Network in Behshahr, Iran

H. Ebrahimian, A. Liaghat*, M. Parsinejad and M. Akram

* Corresponding Author: Associate Professor, University of Tehran, P. O. Box: 31587-77871, Karaj, Iran. E-mail: aliaghat@ut.ac.ir

Evaluating drainage systems, exploring their strengths and weaknesses, provides a comprehensive perspective to designers and organizers for optimum design and implementation of guidelines for the future. This study was conducted at an experimental site consisting of three plots on a subsurface drainage network under operation in Behshahr, a coastal region in northern Iran. To evaluate system performance, discharge rates from laterals and the depth of water table between laterals were monitored for a period of three months during the autumn. A second degree equation similar to the Hooghoudt formula was developed to show the relation between the hydraulic head and discharge rate. This equation was used to estimate the hydraulic conductivity (K) and equivalent depth (d) of the impermeable layer. The obtained K for the three plots ranged from 1.4 to 2.4 md^{-1}, which was greater than the design value. This analysis also showed that the laterals were placed on the permeable layer. The Glover-Dumm equation was used to show the rate of water table fall and to calculate the specific yield (y_S) and reaction factor (α). Based on these results, the actual α was 8%, which is greater than the design value of 4%, and the average y_S obtained was 5.7%, compared to the design value of 7.7%. From these results, it can be concluded that the lateral spacing was overestimated.

Key Words: Discharge Rate, Steady and Unsteady Flow States, Water Table Fall