نشریه دانش آب و خاک / جلد ۲۸ شماره ۲صفحه‌های ۱۳۹ تا ۱۵۰ / سال ۱۳۹۷

بررسی دقت معادلات زهکشی متداول در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در منطقه مغان

کرامت اخوان [۱]، زهرامحمدخانی *[۲]، سید علی‌اشرف صدرالدینی [۳]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۲۷

۱-استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل (مغان)
۲-دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه ارومیه
۳-استاد گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز
* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: z.mohammadkhani70@gmail.com

چکیده

در شرایط اقلیمی با بارندگی ناچیز و تبخیر زیاد ایران، اعمال آبیاری با مدیریت نامناسب باعث شوری و ماندابی شدن قسمت وسیعی از اراضی کشور شده است. با توجه به اهمیت تحقیقات در موضوع زهکشی و وجود ۲۰ هزار هکتار اراضی زه‌دار در منطقه مغان، این پژوهش به‌منظور دست‌یابی به روابط و فرمول‌های مناسب تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در مزرعه آزمایشی به‌وسعت حدود ۱۸ هکتار در قطعه ۸۰۷ بخش ۳ مجتمع کشت و صنعت مغان به اجرا درآمده است. سه سیستم زهکشی شامل فاصله‌های ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متری بین لوله‌های زهکش‌ها با طول ۲۰۰ متر در مزرعه آزمایشی موردنظر پیاده و اجرا شد و با انجام عملیات آبیاری، نسبت به اندازه‌گیری داده‌های سطح ایستابی و دبی خروجی زهکش‌ها اقدام گردید. مقایسه روش‌های تعیین فاصله لوله‌های زهکش زیرزمینی نشان داد که به‌ترتیب فرمول‌های حماد با ۳ درصد، باور و وان‌شیلفگارد با ۶ درصد و وان‌شیلفگارد با ۷ درصد متوسط انحراف از فاصله واقعی زهکش‌های زیرزمینی بهترین دقت را دارا بودند. از بین روش‌های معمول تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی، به‌ترتیب استفاده از روش‌های باور و وان‌شیلفگارد، دام، گلوور و وان‌شیلفگارد در این منطقه توصیه می‌شود. دقت این چهار فرمول در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی تفاوت قابل توجهی با یکدیگر نشان نداد. اگرچه عملکرد زهکش‌های ۵۰ و ۱۵۰ متری تقریبا یکسان بود با این وجود برای افزایش درجه اطمینان کنترل سطح ایستابی توسط زهکش‌ها، توصیه می‌گردد فاصله زهکش‌ها در بیشترین حالت ۱۰۰ متر درنظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: زهکشی زیرزمینی، طراحی، معادلات زهکشی، مغان

Study of Common Drainage Equations' Accuracy in Determination of Subsurface Drains Distance in Moghan region

K Akhavan[1], Z Mohammadkhani[*2], A.A Sadraddini[3]

Received: 2017-02-17 Accepted: 2017-06-17
1.Research Lecturer, Ardabil Agric., and Natural Resources Research Center, Ardabil, Iran
2. Ph.D student, Irrigation & Drainage engineering, Dept., Faculty of Agric., Urmia University, Iran
3.Prof., Water Engineering, Dept., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran
*Corresponding Author, Email: Z.mohammadkhani70@gmail.com

Abstract

Due to low rainfall and high evaporation in climatic conditions of Iran, improper management of irrigation practices has resulted in salinity and waterlogging of many lands. By attention to importance of the research on drainage issue and drainage problems of 20,000 ha agricultural lands in Moghan region, this research was conducted to identify the appropriate equation for determining subsurface drains' spacing (s.d.s.) in an experimental field with the area of 18 ha, located in section 807, branch 3, of Agro-Industry of Moghan. Three drainage systems with spacings of 50, 100 and 150 meters between the drainage pipes having 200 meters' lengths, were constructed in the experimental field. After beginning the irrigation, the measurements of water levels and drainage out-flows were performed. Comparison of the methods for determining the suitable distances between the subsurface drains had that the Hammad, Bouwer & van schilfgard and vanschilfgard equations showed the most accurate results with 3, 6 and 7 average deviation percentages from subsurface drains' actual spacings, respectively. Among the conventional equations for determining the s.d.s., the Bouwer & Vanschilfgard, Dumm, Glover and Vanschilfgard equations were recommended, respectively. The accuracy of these equations did not have a considerable difference with each other. Although, the efficiencies of the established drainage systems with 50 and 150 meters' distances between drains were approximately identical, a system with 100 meters' distance for drains was recommended to increase the degree of reliability.

Keywords: Designing, Drainage equations, Moghan, Subsurface drainage

مقدمه

بخش وسیعی از برنامه توسعه کشور به استفاده از منابع آب و خاک و جلوگیری از تخریب آنها مربوط است. باتوجه به اینکه منطقه مغان جزء مناطق نیمه‌خشک معتدل محسوب می‌شود و در فصل کشت میزان بارندگی کمتر از میزان تبخیر و تعرق محصولات زیر کشت است، در قسمت وسیعی از اراضی زراعی مغان امکان کشت دیم وجود نداشته و مستلزم انجام آبیاری در مزارع است که اعمال آبیاری با مدیریت نامناسب موجب به‌هم خوردن توازن هیدرولوژیکی شده و در نتیجه سطح ایستابی شروع به بالا آمدن می‌نماید، تا جایی که لایه سطحی خاک نه تنها با خطر ماندابی شدن بلکه با خطر شور شدن نیز مواجه می‌گردد. چنین شرایطی ایجاب می کند که کنترل سطح ایستابی و نیز کنترل شوری زهکشی به‌طور جدی صورت پذیرد. خلاصه‌ای از تحقیقات انجام شده در خصوص مسائل زهکشی در زیر ارائه شده است:

فرنچ و اکالاگان (۱۹۶۶) شش معادله زهکشی شامل معادلات گلوور، دام، وان شیلفگارد، باور و وان شیلفگارد، حماد و لوتین را در منطقه‌ای به مساحت نیم هکتار مورد آزمایش و مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که اگر بیشینه ۲۰ درصد انحراف از فاصله واقعی به‌عنوان پایه انتخاب شود، معادله وان شیلفگارد با احتمال ۸۷ درصد (۸۷ مورد از ۱۰۰ مورد) مرتبه اول را به‌خود اختصاص می‌دهد. معادلات حماد با ۶۷ درصد، گلوور با ۵۳ درصد، باور و وان شیلفگارد (با ضریب ۱= C) با ۴۷ درصد و دام با ۲۰ درصد در رده‌های بعدی

جای می‌گیرند. معادله لوتین خارج از این دامنه قرار می-گیرد.

اسکگز و همکاران (۱۹۷۳) چهار معادله زهکشی شامل معادلات گلوور (با در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان)، حماد، وان شیلفگارد و باور و وان شیفگارد را در منطقه‌ای به مساحت ۴ هکتار مورد آزمایش و مقایسه قرار دادند. آنها معادلات مذکور را برای دو حالت به‌کار بردند. در حالت نخست، ضریب آبگذری به‌دست آمده از طریق نمونه‌های دست‌نخورده و روش آزمایشگاهی را در معادلات زهکشی قرار داده و فاصله زهکش‌ها را تخمین زدند. در حالت دوم ابتدا اطلاعات به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های صحرایی را در هر یک از معادلات قرار داده و به‌ازای فاصله ۱۵ متر، ضریب آبگذری مؤثر را برای هر معادله محاسبه کردند. آنگاه از این ضریب آبگذری مجددا در معادلات مزبور استفاده کرده و فاصله زهکش‌ها را به این طریق تخمین زدند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که در حالت نخست معادله حماد ضعیف‌ترین عملکرد را نشان داد. حال آنکه تفاوت اندکی بین سه معادله دیگر دیده می‌شد. در حالت دوم که از ضریب آبگذری مؤثر در معادلات زهکشی استفاده شد، معادلات حماد، وان شیلفگارد، باور و وان شیلفگارد و گلوور به‌ترتیب عملکرد بهتری داشتند.

نوا و توکاک (۱۹۶۹) هفت معادله زهکشی شامل معادلات باور و وان شیلفگارد، گلوور، حماد، لوتین، وان شیلفگارد، گلوور اصلاح شده توسط وان شیلفگارد و معادله هوگهات را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق دقت عملکرد معادلات مذکور را به‌ترتیب اولویت به‌شرح زیر مشخص کرد: ۱- باور و وان شیلفگارد (با ضریب C=۱) ۲- گلوور اصلاح شده توسط وان شیلفگارد ۳- باور و وان شیفگارد (با ضریب C= ۰/۸) ۴- گلوور بدون در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان ۵- وان شیلفگارد ۶- هوگهات ۷- حماد ۸- معادلات لوتین (برای سطح ایستابی مسطح و بیضوی).

برومند نسب (۱۳۶۷) برای مقایسه فاصله نظری محاسبه شده با فاصله واقعی در شرایط غیر همگام، آزمایشی در قطعه‌ای به مساحت ۱۲ هکتار از اراضی نظامیه اهواز انجام داد. محاسبه فاصله نظری و مقایسه با مقادیر واقعی در دو حالت انجام شد: الف) اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی به‌روش ارنست و آبدهی ویژه از نموگراف تالسما و هسکیو، ب) اندازه‌گیری ضریب هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه از روش افت سطح ایستابی. در هر دو حالت به‌ترتیب معادلات دام، گلوور، باور و وان شیلفگارد (با ضریب C = ۱)، وان شیلفگارد و مک ورتر جواب‌های بهتری می‌دهند. در هر دو حالت جواب‌های معادله حماد انحراف زیادی با فاصله واقعی لوله‌های زهکشی دارد.

ترابی(۱۳۹۳) به‌منظور ارزیابی عملکرد معادلات زهکشی جریان غیر همگام چند آزمایش صحرایی روی یک شبکه زهکشی به‌وسعت یک هکتار در ایستگاه تحقیقات کشاورزی رودشت اصفهان انجام داد. بر اساس دقت نتایج، معادلات به چهار گروه تقسیم شدند. این گروه‌ها به‌ترتیب اولویت عبارتند از : ۱- معادله یانگز، لوتین (برای سطح ایستابی مسطح) و باور و وان شیلفگارد(با ضریب C=۲) ۲- معادله دام ۳- معادله اصلاح‌شده توسط وان شیلفگارد و معادله گلوور (بدون در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان) ۴-معادلات هوگهات (با در نظر گرفتن همگرایی خطوط جریان) و معادله حماد.

دهقانیان و همکاران (۱۳۸۲) به‌منظور تعیین فرمول یا فرمول‌های مناسب برآورد فاصله زهکش‌های زیرزمینی و تعیین فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی تحقیقی در استان فارس انجام دادند. تیمارهای زهکشی زیرزمینی شامل فواصل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ متری به‌طول ۱۵۰ متر در عمق ۱/۸۵ متری از سطح خاک احداث گردید. برای اندازه‌گیری داده‌های سطح ایستابی و خروجی زهکش‌ها از بارش‌های زمستانه منطقه در دو نوبت استفاده شد. نتایج نشان داد که فرمول‌های دام با ۱۱/۲۵ درصد و گلوور با ۱۳/۸ درصد متوسط انحراف از فاصله واقعی زهکش‌های زیرزمینی بهترین کارآیی را دارا هستند.

مسئله مهم در امر زهکشی این است که در بسیاری از مواقع تنها توجه به مسائل نظری نمی‌تواند پاسخگوی نیازها باشد و انجام آزمایش در مزارع تحقیقاتی زهکشی قبل از اجرای عملیات اجرایی احداث شبکه ضرورت دارد. با همه دقت‌هایی که در مباحث نظری در مطالعات زهکشی طرح‌ها در سطح کشور انجام می‌شود، اما در عمل پس از احداث شبکه زهکشی نتایج به‌دست آمده با برآوردهای اولیه متفاوت و گاه نیز مغایر

است. از این‌رو بهترین راه غلبه بر مشکلات یاد شده احداث مزارع آزمایشی زهکشی می‌باشد، که در این پژوهش با بررسی کار آیی و دقت فرمول‌های تعیین فاصله زهکش باتوجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های مزرعه تحقیقاتی، فرمول مناسب با دقت و کار آیی بالا در تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی در منطقه مغان مشخص گردید تا در طرح‌های بزرگ زهکشی آتی بعداز احداث شبکه عملکرد زهکش‌ها با پیش‌بینی‌هایی که در زمینه نظری صورت گرفته مغایرت نداشته باشد.

مواد و روش‌ها

سیمای کلی منطقه و مشخصات محل مزرعه آزمایشی جلگه حاصل‌خیز مغان در شمال شرقی استان اردبیل واقع و از شمال و غرب به رودخانه ارس و از شرق به مرز ایران و جمهوری آذربایجان و از جنوب به ارتفاعات سبلان مشرف می‌باشد. ازنظر اقلیم‌شناسی مغان منطقه‌ای نیمه‌خشک و سرد و دارای یخبندان‌های محدود می‌باشد. طبق آمار ۲۵ ساله متوسط بارندگی سالانه ۳۳۲ میلی‌متر و متوسط تبخیر سالانه ۱۴۸۶ میلی‌متر گزارش شده است. رودخانه ارس به‌عنوان تنها منبع آبی منطقه تلقی گردیده که از دامنه کوه‌های مین‌گول‌داغ ترکیه سرچشمه گرفته و پس از طی مسافت ۱۰۷۳ کیلومتر در مرز ایران، ترکیه، نخجوان، ارمنستان و آذربایجان در نهایت پس از اتصال به رودخانه کورا به دریای خزر می‌ریزد (بی‌نام ۱۳۸۸)..

برای بدست آوردن بهترین نتایج، محل مزرعه آزمایشی باید شرایطی را داشته باشد که امکان بررسی‌های مورد لزوم و تعمیم آنها به کل محدوده طرح مقدور و منطقی باشد (بی‌نام ۱۳۸۲). بدین‌منظور مزرعه آزمایشی به وسعت ۱۸ هکتار از اراضی زه‌دار بخش ۳ کشت و صنعت مغان برای اجرای طرح انتخاب گردید و سپس برای انجام آزمایش‌های لایه‌بندی خاک و احداث چاهک‌های مشاهده‌ای، به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر شبکه‌بندی شد. در رئوس این شبکه تعداد ۱۳ حلقه چاهک مشاهده‌ای برای بررسی نوسانات سطح ایستابی به‌وسیله مته دستی احداث و با استفاده از لوله‌های مشبک تجهیز گردید.

در زمینه زهکشی نظریه‌های زیادی ارائه گردیده است که در این تحقیق از فرمول‌های حالت همگام سه فرمول هوگهات، کرکهام و ارنست و از فرمول‌های غیر همگام گلوور–دام، وان شیفلگارد و عامر– لوتین و از روش تعادل دینامیکی برای برآورد اولیه فواصل زهکش‌ها استفاده گردیده است. بدین‌منظور برنامه رایانه‌ای به زبان *Quick Basic* نیز تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. که بر اساس محاسبات انجام شده فاصله زهکش‌ها با روش همگام ۱۰۰–۱۲۰ متر، با روش غیرهمگام ۵۰–۶۰ متر و با روش تعادل دینامیکی در کشت گندم ۱۳۰ متر و ذرت ۱۰۰ متر و برای چغندرقند ۱۲۰ متر به دست آمده است. با توجه به فواصل به دست آمده از طریق فرمول‌ها، فاصله مناسب زهکش‌های زیرزمینی در این منطقه ۱۰۰ متر تعیین گردید که برای انجام آزمایش‌های زهکشی ۰/۵ و ۱/۵ برابر این فاصله یعنی ۵۰ و ۱۵۰ متر و خود ۱۰۰ متر (بعنوان فاصله رایج منطقه) انتخاب و زهکش‌ها اجرا گردیدند. با توجه به ابعاد مزرعه آزمایشی طول زهکش‌ها ۲۰۰ متر و از هر تیمار ۳ خط زهکش به جز تیمار ۱۵۰ متر با ۴ خط زهکش اجرا گردید. البته ۵ خط زهکشی جهت این کار مناسب بود ولی به دلیل محدود بودن ابعاد مزرعه آزمایشی امکان اجرای آن وجود نداشت و به ناچار ۳ خط انتخاب و آزمایش‌ها و اندازه‌گیری‌ها بر روی خط زهکش وسط انجام گردید. لوله‌های زهکشی از جنس *PVC* موجدار به قطر ۱۲۵ میلی‌متر انتخاب شد. بعد از نمونه‌برداری از خاک محل، دانه‌بندی مناسب فیلتر از نوع شنی تعیین و به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر دور لوله‌ها مواد فیلتر ریخته شد. محل تخلیه خروجی زهکش‌ها بصورت کانال روباز ذوزنقه‌ای با عرض کف ۱/۲ متر و عمق ۲/۴ متر و شیب جانبی ۱:۱ احداث گردید که آب لترال‌ها را جمع‌آوری و به زهکش اصلی منطقه انتقال می‌داد که آن هم در نهایت به رودخانه ارس سرازیر می‌شد. لازم به ذکر است که زهکش اصلی منطقه از شرق مزرعه عبور می‌کند که این مسئله امکان تخلیه زه‌آب به این زهکش و خروج آن از منطقه را میسر می‌سازد.

در تیمار با فاصله زهکش ۵۰ متر تغییرات سطح ایستابی به مدت ۱۷ روز بعد از آبیاری و در تیمار با

فاصله زهکش ۱۵۰ متر تغییرات سطح ایستابی به مدت ۲۱ روز بعد از آبیاری در چاهک‌های مشاهده‌ای به‌وسیله عمق‌سنج الکتریکی قرائت و ثبت شد. نتایج نشان داد که با پیشروی به سمت زهکش اصلی منطقه در شرق قطعه آزمایشی، سطح ایستابی پایین‌تر رفته و در مواقع آبیاری در اراضی بالادست سطح ایستابی در چاهک‌ها صعود می‌کند، که این مطلب بیانگر این است که علت زهدار شدن اراضی مذکور بیشتر بخاطر شرایط توپوگرافی منطقه می‌باشد. زیرا این اراضی دارای شیب طبیعی کمی بوده و نسبت به نواحی بالادست که دارای شیب مناسب است، بسیار کم‌ارتفاع می‌باشند به‌همین دلیل موقع آبیاری اراضی بالادست زه‌آب حاصل در این منطقه تجمع یافته و باعث بالا آمدن سطح ایستابی می‌گردد.البته به غیر از عامل ذکر شده عوامل دیگری مانند نوع لایه‌بندی خاک، سنگین بودن خاک، نشت آب از کانال اصلی منطقه را می‌توان در مراتب بعدی به‌عنوان عامل زه‌دار شدن این منطقه نام برد. لایه غیر قابل نفوذ در مزرعه آزمایشی در عمق‌های ۳/۵ تا ۴ متری و ضریب آبگذری منطقه از نظر طبقه‌بندی در ردیف سریع (۱/۵-۴ متر در روز) بوده و با توجه به معیارهای جهانی موردقبول عامل محدودکننده در تخلیه آب زیرزمینی منطقه محسوب نمی‌شود (بی‌نام ۱۳۶۰).

بنا به توصیه سازمان خوارو بار و کشاورزی جهانی (فائو) و با توجه به وضعیت منطقه و با در نظر گرفتن مسائل زراعی و خصوصیات آب و خاک، عمق کنترل آب زیرزمینی در حالت ماندگار ۱ متر و در حالت غیر ماندگار ۰/۹ متر از سطح زمین در نظر گرفته شد (بی‌نام ۱۳۷۰). همچنین با در نظر گرفتن کمینه عمق توصیه شده، رقوم خروجی نهایی، شیب زمین، نوع ماشین‌آلات و مسائل اقتصادی لوله‌های زهکشی از عمق ۱۷۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر کارگذاری شدند.

- نتایج و بحث

بعد از اجرای زهکش‌ها و تثبیت آن عملیات آبیاری در این منطقه انجام و اندازه‌گیری‌های مربوط به سطح ایستابی و خروجی زهکش‌ها بعمل آمد. در جدول‌های ۱ و ۲ نحوه محاسبه ضریب عکس‌العمل (α) و تخلخل قابل زهکشی (μ) با استفاده از داده‌های دبی خروجی زهکش‌ها و ارتفاع سطح ایستابی نشان داده شده است. در این جدول‌ها زمان رسیدن سطح ایستابی به بیشینه مقدار خود، مطابق فرضیات لحاظ شده در روابط زهکشی غیرماندگار صفر در نظر گرفته شده است. با نزول سطح ایستابی، مقدار دبی خروجی و ارتفاع سطح ایستابی در هر زمان ثبت گردیده است.

در طرح‌های زهکشی قبلی اجرا شده در منطقه مغان، ضریب زهکشی ۲/۸ میلی‌متر در روز برآورد شده (بی‌نام ۱۳۷۰) که با توجه به نتایج آزمایش‌های آذری و مصطفی‌زاده (۱۳۸۰) در خصوص تعدیل ضریب زهکشی در دشت مغان این رقم به ۲/۱ میلی‌متر در روز تعدیل یافت و در این تحقیق نیز بادرنظر گرفتن تخلیه صورت گرفته توسط زهکش‌های جمع‌کننده و همچنین با توجه به گرایش جهانی به کاهش ضریب زهکشی در پروژه‌های جدید، این رقم به ۲ میلی‌متر در روز کاهش یافت. برای محاسبه شدت زهکشی بر حسب میلی‌متر در روز از رابطه زیر استفاده شده است:

$$q(mm\ day^{-1}) = \frac{Q(lit\ s^{-1}) \times 86400}{L \times 200} \qquad [1]$$

که در آن L فاصله زهکش‌ها می‌باشد. برای برآورد α و μ، ابتدا رابطه بین دبی و ارتفاع آب درون چاهک‌های قرار گرفته در وسط فاصله دو زهکش را در زمان‌های مختلف به‌دست آورده و معادله رگرسیون درجه یک خطی با عرض از مبدا صفر برای این نقاط برای فواصل زهکش ۵۰ متر و ۱۵۰ متر رسم گردید (شکل۱، الف و ب). مقادیر ارتفاع سطح ایستابی در نقاط وسط زهکش‌ها در زمان‌های مختلف رسم (شکل۲، الف و ب) و مقدار α از رابطه ۲ و شکل ۲ و مقدار μ از رابطه۳ با داشتن مقدار (q/h)از شکل ۱ در زمان‌های مختلف محاسبه و ثبت گردید.

$$\alpha = 2.3\frac{(\log h_{t2} - \log h_{t1})}{(t_2 - t_1)} \qquad [2]$$

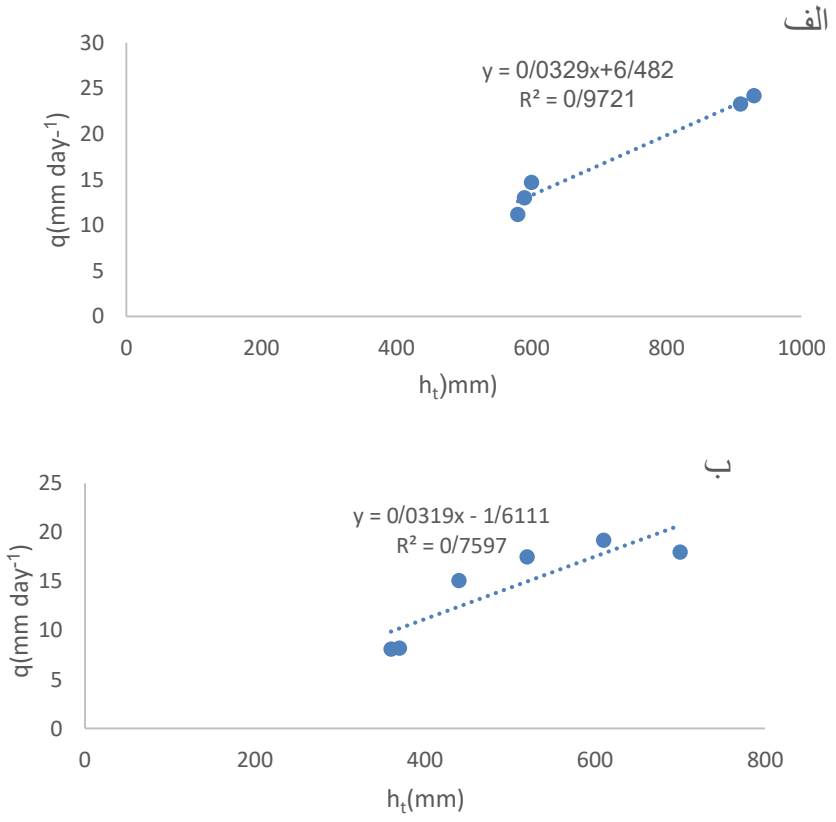
$$\mu = \frac{\pi\left(\frac{q}{h}\right)}{(2\alpha)} \qquad [3]$$

جدول۱- محاسبه ضریب عکس‌العمل(α) و تخلخل قابل زهکشی(μ) با استفاده از داده‌های صحرایی برای تیمار با فاصله زهکش ۵۰ متر در روزهای بعد از آبیاری.

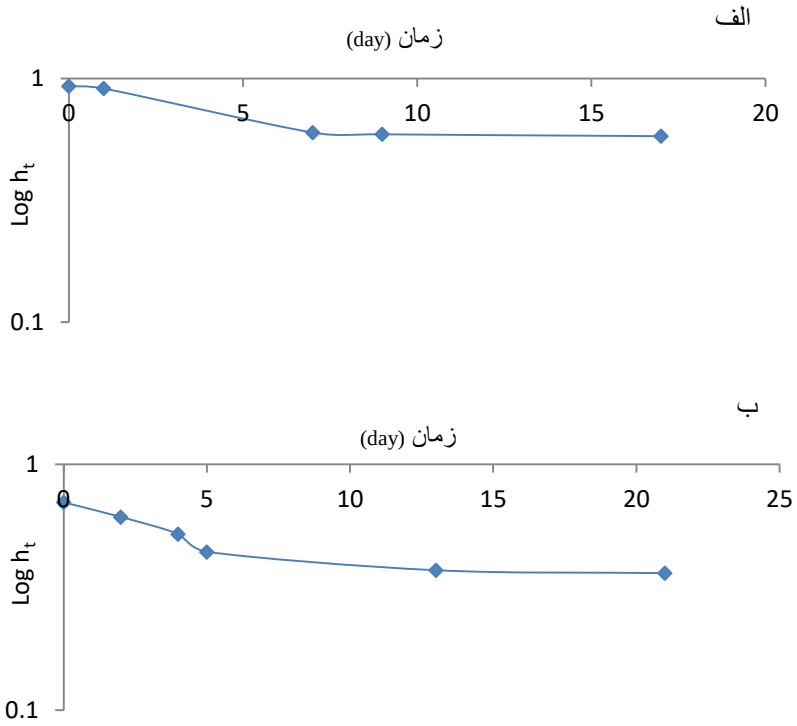
زمان (day)	دبی خروجی ($L\ s^{-1}$)	بار هیدرولیکی (m)	دبی خروجی ($mm\ day^{-1}$)	α	μ
۰	۲/۸	۰/۹۳	۲۴/۲		
۱	۲/۷	۰/۹۱	۲۳/۳	۰/۰۳۵	۱/۰۹۸
۷	۱/۷	۰/۶۰	۱۴/۷	۰/۰۳۹	۰/۹۶۹
۹	۱/۵	۰/۵۹	۱۳/۰	۰/۰۴۱	۰/۹۲۷
۱۷	۱/۳	۰/۵۸	۱۱/۲	۰/۰۵۱	۰/۷۴۱

جدول۲- محاسبه ضریب عکس‌العمل(α) و تخلخل قابل زهکشی(μ) با استفاده از داده‌های صحرایی برای تیمار با فاصله زهکش ۱۵۰متر در روزهای بعد از آبیاری.

زمان (day)	دبی خروجی ($L\ s^{-1}$)	بار هیدرولیکی (m)	دبی خروجی ($mm\ day^{-1}$)	α	μ
۰	۶/۲۵	۰/۷۰	۱۸/۰		
۲	۶/۶۶	۰/۶۱	۱۹/۲	۰/۰۳۲	۱/۴۱۸
۴	۶/۰۶	۰/۵۲	۱۷/۵	۰/۰۳۳	۱/۳۵۰
۵	۵/۲۶	۰/۴۴	۱۵/۱	۰/۰۳۴	۱/۳۲۷
۱۱		۰/۳۸		۰/۰۳۸	۱/۱۸۰
۱۳	۲/۸۵	۰/۳۷	۸/۲	۰/۰۴۰	۱/۱۲۹
۲۱	۲/۸	۰/۳۶	۸/۱	۰/۰۵۰	۰/۸۹۸



شکل۱- رابطه دبی و بارهیدرولیکی در وسط دو لوله زهکش. الف-تیمار با فاصله ۵۰ متر- ب-تیمار با فاصله ۱۵۰ متر.



شکل۲- رابطه زمان و بارهیدرولیکی در وسط دو لوله‌زهکش. الف-تیمار با فاصله ۵۰ متر- ب-تیمار با فاصله ۱۵۰ متر.

جدول۳-فرمول‌های محاسبه ضریب هدایت هیدرولیکی در معادلات غیرماندگارزهکشی.

نام معادله مورد استفاده	فرمول محاسبه ضریب هدایت هیدرولیکی
گلوور و دام	$K=\frac{\frac{L^2\,q_t}{h_t}}{2\pi D}$
حماد	$K=\frac{\left(\frac{q_t}{h_t}\right)L\ln\left(\frac{L^2}{2\pi^2 rd}\right)}{2\pi}$
وان‌شیلفگارد	$K=\frac{2L^2\left(\frac{q_t}{h_t}\right)}{9(2d_e+h_0)}$
باور و وان شیلفگارد	$K=\frac{L^2\left(\frac{q_t}{h_t}\right)}{4(2d_e+h_0)}$

q_t: دبی خروجی زهکش در زمان t (متر بر روز)، h_t و h_0: سطح ایستابی در زمان t (متر)، L: فاصله زهکش‌ها(متر)، D: ضخامت محدوده جریان افقی(متر)، d: عمق لایه محدود کننده(متر)، r: شعاع لوله زهکش(متر)، d_e: عمق معادل پیشنهادی هوگهات(متر)

در جداول ۴ و ۵ محاسبات مربوط به پنج معادله زهکشی جریان ناهمگام شامل باور و وان‌شیلفگارد (۱۹۶۳)، وان-شیلفگارد (۱۹۶۳)، حماد (۱۹۶۴ و ۱۹۶۲)، دام و گلور با استفاده از داده‌های صحرایی سطح ایستابی و خروجی زهکش‌ها آورده شده است (وان‌بیرز ۱۹۷۹، پراکاش ۲۰۰۴). در این جداول مقادیر ستون زمان و آبدهی ویژه

همانند جداول ۱ و ۲ است. روابط مربوط به محاسبه K با استفاده از دبی خروجی زهکش‌ها و سطح ایستابی برای هر یک از معادلات غیرماندگار زهکشی توسط دایلمن و ترافورد (۱۹۷۶) ارائه شده است (جدول۳).

جدول۴- محاسبه فاصله زهکش‌های‌زیرزمینی از پنج معادله غیرماندگار با استفاده از μ و K بدست آمده از داده‌های صحرایی برای تیمار با فاصله زهکش ۵۰ متر .

زمان (day)	μ	K(glov) (m day^{-1})	K(dum) (m day^{-1})	K(ham) (m day^{-1})	K(vsh) (m day^{-1})	K(B&vsh) (m day^{-1})	L(glov) (m)	L(dum) (m)	L(ham) (m)	L(vsh) (m)	L(B&vsh) (m)
۰											
۱	۱/۰۹۸	۳/۹۹۵	۴/۶۳۶	۱/۳۴۳	۳/۲۳۶	۳/۶۴۱	۱۸/۲	۲۲/۸	۵۶/۳	۵۴/۰	۱۲/۳
۷	۰/۹۶۹	۳/۹۹۵	۴/۸۲۴	۱/۳۴۳	۳/۳۶۸	۳/۷۸۹	۳۱/۳	۳۳/۷	۲۴/۲	۳۰/۸	۲۹/۳
۹	۰/۹۲۷	۳/۹۹۵	۴/۸۲۴	۱/۳۴۳	۳/۳۶۸	۳/۷۸۹	۳۶/۳	۳۹/۰	۳۰/۱	۳۵/۸	۳۴/۰
۱۷	۰/۷۴۱	۳/۹۹۵	۴/۸۱۸	۱/۳۴۳	۳/۳۶۳	۳/۷۸۴	۵۶/۵	۶۰/۸	۵۹/۹	۵۶/۰	۵۲/۶

جدول۵- محاسبه فاصله زهکش‌های‌زیرزمینی از پنج معادله غیرماندگار با استفاده از μ و K بدست آمده از داده‌های صحرایی برای تیمار با فاصله زهکش ۱۵۰ متر.

زمان (day)	μ	K(glov) (m day^{-1})	K(dum) (m day^{-1})	K(ham) (m day^{-1})	K(vsh) (m day^{-1})	K(B&vsh) (m day^{-1})	L(glov) (m)	L(dum) (m)	L(ham) (m)	L(vsh) (m)	L(B&vsh) (m)
۰											
۲	۱/۴۱۸	۴۴/۸	۴۷/۹	۶/۳	۳۳/۴	۳۷/۶	۶۱/۴	۷۰/۷	۵۶/۰	۸۱/۲	۴۸/۵
۴	۱/۳۵۰	۴۴/۸	۴۸/۴	۶/۳	۳۳/۸	۳۸/۰	۷۵/۲	۸۲/۹	۵۶/۲	۸۱/۳	۶۶/۱
۵	۱/۳۲۷	۴۴/۸	۴۸/۸	۶/۳	۳۴/۱	۳۸/۳	۷۴/۰	۷۹/۶	۴۷/۶	۷۳/۰	۶۹/۵
۱۱	۱/۱۸۰	۴۴/۸	۴۹/۳	۶/۳	۳۴/۴	۳۸/۷	۱۰۱/۸	۱۰۷/۵	۷۱/۵	۹۴/۶	۹۹/۷
۱۳	۱/۱۲۹	۴۴/۸	۴۹/۲	۶/۳	۳۴/۳	۳۸/۶	۱۱۶/۸	۱۲۳/۷	۹۰/۷	۱۰۹/۸	۱۱۳/۵
۲۱	۰/۸۹۸	۴۴/۸	۴۹/۳	۶/۳	۳۴/۴	۳۸/۷	۱۶۳/۸	۱۷۳/۲	۱۵۵/۶	۱۵۳/۰	۱۵۹/۹

در جدول‌های ۶ و ۷ فاصله زهکش‌های زیرزمینی با روش معمول در طراحی محاسبه گردیده‌اند. دراین روش ضریب هدایت هیدرولیکی خاک از آزمایش‌های انجام شده قبلی در مزرعه آزمایشی زهکشی کشت و صنعت مغان با روش چاهک که ۱/۴۵ متر بر روز تعیین گردیده، استفاده شده است (بی‌نام ۱۳۶۰). آبدهی ویژه جذر مقدار هدایت هیدرولیکی بر حسب سانتی‌متر در روز می‌باشد

زمان (day)	هدایت هیدرولیکی (m day^{-1})	آبدهی ویژه	بار هیدرولیکی (m)	L(glov) (m)	L(dum) (m)	L(ham) (m)	L(vsh) (m)	L(B&vsh) (m)

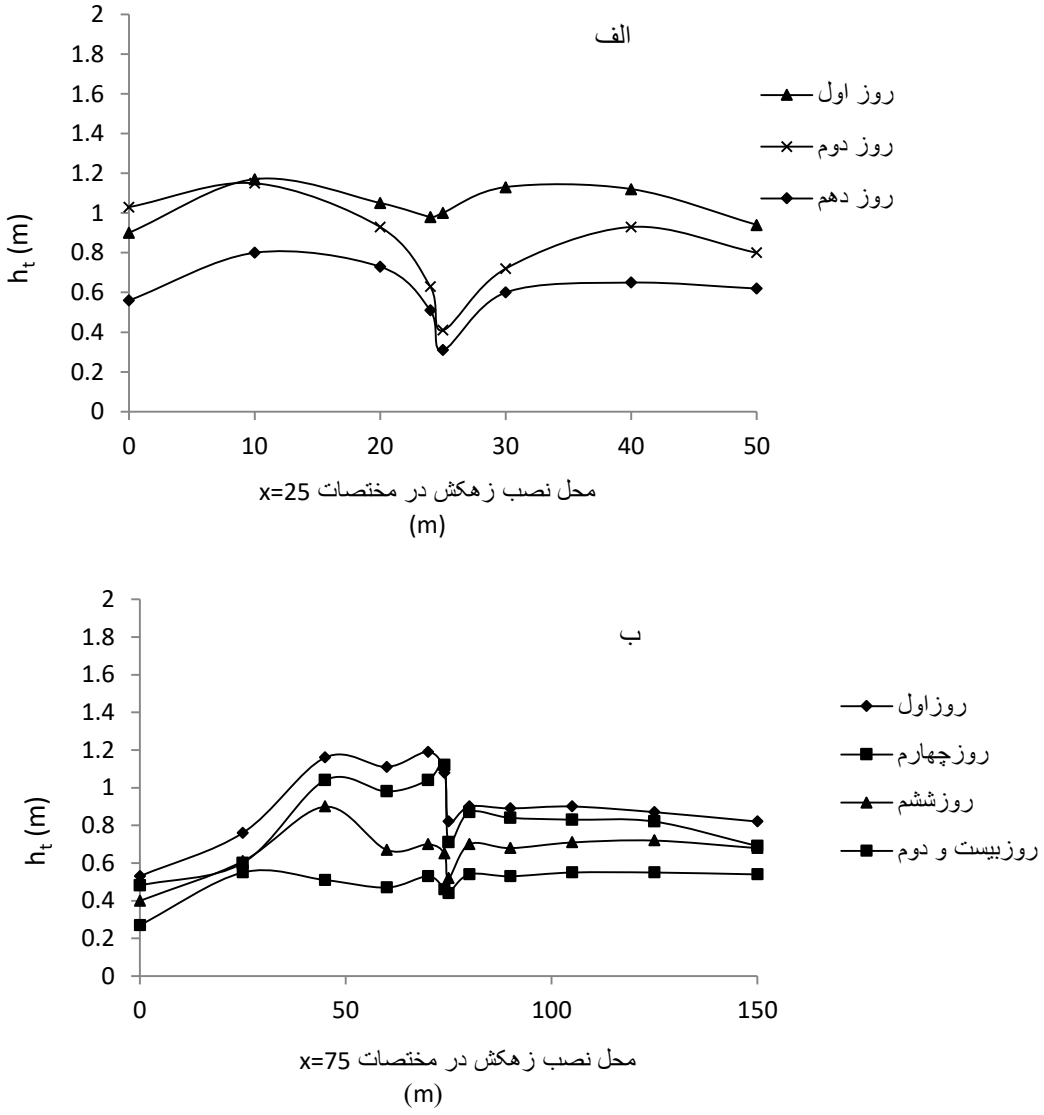
۰	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۹۳					
۱	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۹۱	۳۳/۲	۳۸/۵	۳۶۵/۸	۱۰۹/۳	۲۳/۵
۷	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۶۰	۵۳/۶	۵۲/۴	۱۳۰/۵	۵۷/۵	۵۱/۵
۹	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۵۹	۶۰/۸	۵۹/۵	۱۶۰/۳	۶۵/۲	۵۸/۴
۱۷	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۵۸	۸۴/۶	۸۲/۹	۲۸۰/۶	۹۱/۴	۸۰/۹

جدول۶- محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی از معادلات غیرماندگار با روش معمول طراحی برای تیمار با فاصله زهکش ۵۰ متر.

جدول۷- محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی از معادلات غیرماندگار با روش معمول طراحی برای تیمار با فاصله زهکش ۱۵۰ متر.

زمان (day)	هدایت هیدرولیکی ($m\ day^{-1}$)	آبدهی ویژه	بار هیدرولیکی (m)	L(glov) (m)	L(dum) (m)	L(ham) (m)	L(vsh) (m)	L(B&vsh) (m)
۰	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۷۰					
۲	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۶۱	۳۷/۹	۴۲/۳	۱۲۴/۸	۵۸/۱	۳۲/۷
۴	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۵۲	۴۵/۴	۴۸/۱	۱۲۰/۳	۵۶/۵	۴۳/۳
۵	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۴۴	۴۴/۳	۴۵/۶	۹۹/۷	۵۰/۱	۴۵/۰
۱۱	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۳۸	۵۷/۴	۵۷/۸	۱۳۸/۴	۶۰/۹	۶۰/۵
۱۳	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۳۷	۶۴/۴	۶۵/۱	۱۷۰/۲	۶۹/۲	۶۷/۵
۲۱	۱/۴۵	۰/۱۲	۰/۳۶	۸۰/۶	۸۱/۳	۲۴۴/۶	۸۶/۰	۸۴/۷

تغییرات سطح ایستابی در چاهک‌های مشاهده‌ای در مقطع عمود بر امتداد زهکش‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌گردد که سطح ایستابی بر اثر عملیات آبیاری تا ارتفاع مشخصی نسبت به سطح ایستابی اولیه بالا آمده و سپس با گذشت زمان پایین می‌افتد. سطح ایستابی در نقاط قرارگیری زهکش-های زیرزمینی دارای پایین افتادگی است و با گذشت زمان به‌دلیل عملکرد زهکش در خروج زه‌آب‌ها، این پایین افتادگی افزایش می‌یابد.



شکل۳- تغییرات سطح ایستابی در روزهای پس از آبیاری در شعاع تاثیر یک لوله زهکش. الف-تیمار با فاصله ۵۰ متر- ب- تیمار با فاصله ۱۵۰ متر.

با توجه به نتایج حاصل یافته‌های این تحقیق به اختصار به‌صورت زیر قابل بیان می‌باشد:

۱- همان‌طورکه در شکل ۱ ملاحظه می‌شود رابطه بین دبی و بارهیدرولیکی خطی می باشد، ارتباط خطی حاصل با توجه به روابط زهکش‌ها در حالت غیر ماندگار نیز قابل استنباط است که مطابق با مقادیر تجربی حاصل می‌باشد. با توجه به شکل ۲ مقدار $\log h_t$ پس از چند روز تقریبا به سمت مقدار ثابتی میل می‌کند که بیانگر کاهش میزان جریان به سمت زهکش‌ها می‌باشد.

۲- فاصله زهکش‌های زیرزمینی تعیین شده با استفاده از داده‌های صحرایی سطح ایستابی و خروجی زهکش‌ها در کلیه فرمول‌های مورد آزمون دارای درجه دقت قابل قبول و نزدیک به واقعیت می باشد. این مطلب در تحقیقات قبلی انجام شده توسط اسکگز و همکاران (۱۹۷۳) و برومندنسب (۱۳۶۷) نیز مورد تایید قرار گرفته است. بنابراین توصیه می‌گردد قبل از احداث پروژه‌های بزرگ زهکشی زیرزمینی، تاحدامکان نسبت به راه‌اندازی مزارع آزمایشی اقدام گردیده و با استفاده

از داده‌های بردا شت شده از این مزارع فا صله منا سب زهکش‌ها تعیین شود.

۳- در منطقه مغان مقایسه روش‌های تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی نشان می‌دهد که به‌ترتیب فرمول‌های حماد با ۳ در صد، باور و وان شیلفگارد با ۶ در صد و وان شیلفگارد با ۷ در صد متو سط انحراف از فاصله واقعی زهکش‌های زیرزمینی بهترین کار آیی را دارا هستند. بیشترین انحراف از فاصله واقعی زهکش‌ها مربوط به فرمول دام با ۱۸/۵ در صد می‌با شد. نتایج این تحقیق مشابه یافته‌های تحقیقاتی فرنچ و اکالاگان(۱۹۶۶) و اسکگز و همکاران(۱۹۷۳) می‌باشد.

۴- در منطقه مغان چنانچه از روش‌های معمول طراحی نسبت به تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی اقدام گردد، بترتیب ا ستفاده از روش‌های باور و وان شیلفگارد، دام، گلوور و وان‌شیلفگارد توصیه می‌شود. کار آیی این چهار فرمول در تعیین فاصله زهکش های زیرزمینی تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارند. فرمول حماد در این منطقه تا حدود ۱۰۰٪ انحراف از مقدار واقعی فاصله زهکش‌ها دارد و استفاده از آن قابل توصیه نیست.

۵- صعود سطح ایستابی در هر دو فاصله زهکش ۵۰ و ۱۵۰ متری تا عمق حدود ۷۰ سانتی‌متری سطح خاک بوده است. در هر دو تیمار ۴ الی ۵ روز بطول انجامید تا سطح ایستابی به زیر تراز بحرانی یعنی ۱ متر نزول نماید. بنابراین با وجود عدم تفاوت در عملکرد زهکش‌های ۵۰ و ۱۵۰ متری و در جهت بالا بردن درجه اطمینان برای کنترل سطح ایستابی توسط زهکش‌ها توصیه می‌گردد در این منطقه فاصله زهکش‌ها در بیشترین حالت ۱۰۰ متر درنظر گرفته شود.

نتیجه گیری کلی

در این تحقیق سه سیستم زهکشی زیرزمینی با فواصل ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر در اراضی بخش ۳ مجتمع کشت وصنعت مغان احداث گردید و سپس براساس نتایج مشاهدات دقت مطلوب فرمول حماد با ۳ درصد انحراف از فاصله واقعی زهکش‌ها مورد تایید قرار گرفت و از این رو برای کاربرد در منطقه مغان قابل توصیه می‌باشد. باتوجه به تجربیات حاصل از این تحقیق پیشنهاد می‌گردد که در کلیه مناطقی که پروژه‌های زهکشی در آنها اجرا می‌شود قبل از اجرا، سیستم‌های زهکشی به‌صورت پایلوت احداث شوند تا براساس نتایج مربوطه سیستم زهکشی به شکل بهینه طراحی گردد.

منابع مورد استفاده

Alizadeh A, 2006. New drainage, Astan Quds Razavi Publication, Second Edition.

Anonymous, 1981. Report on drainage issues and existing irrigation network in Moghan Plain. First Consulting Engineers ECA., Archive of Regional Water Organization of East Azarbaijan and Ardebil.

Anonymous, 1991. Report on the first phase of drainage studies of Moghan Plain, Consulting Engineers Absu, Under number 5313 in the library of first consultant engineers.

Anonymous, 2003. Prepare selection criteria and design of underground experimental farm, Iran Water Resources Management Organization, Ministry of Energy publication, No. 259.

Anonymous, 2009. Report on the review of the first phase studies and the second phase studies of Moghan irrigation and drainage network rehabilitation, Water and Soil Resources Engineering Co., Ardebil Regional Water Company.

Azari A and Mostafazadeh B, 2001. Adjusted drainage coefficient in Moghan Plain. Proceedings of the second technical drainage and environmental workshop, National Irrigation and Drainage Committee, Journal No. 42

Borumandnasab S, 1988. Evaluation of drainage formulas in non-consistent state by collecting statistics and field information, Master's thesis, Faculty of Agriculture, Chamran University of Ahvaz.

Dehganian A, Hagayegi A and Rasuli F, 2010. Determination of drainage distance in Marvdasht city of Fars province, Third National Conference on Irrigation and Drainage Management, March 2010, Chamran martyr of Ahwaz University, Pages 1-7.

Dieleman PJ and Trafford BD, 1976. Drainage testing. Irrigation and Drainage Papper (28) (FAO) pp: 172.

French BE and Ocallaghan JR, 1966. A field test of drain spacing equations for agricultural land. Journal of Agricultural Engineering Research 11(4): 282-295.

Nwa EU and Twocok JG, 1969. Drainage design teory and practice. Journal of Hydrology, 9(3): 259-276.

Skaggs RW, Kriz GJ and Bernal R, 1973. Field evalution of transient drain spacing 6 equation. Transaction of the ASAE 16: 590-595.

Torabi M, 2014. Field evaluation of drainage equations in Isfahan plain area, Journal of Water Research in Agriculture, Vol. 28, No. 3, Pages 635 to 644.