


Optimal installation depth of subsurface drains with the aim of reducing construction costs

Fatemeh Saadatpour¹, Majid Sharifipour^{2*}, Abdolmajid Liaghat³ , Ali Heidar Nasrollahi², Mehri Saadina²

¹ M.Sc. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, Iran

² Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorram Abad, Iran

³ Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Millions of hectares of the world's irrigated lands need subsurface drainage, but lack of funding is hindering the timely development of these systems, so a solution is required to minimize construction costs (Ritzema and Braun, 2006; Sharifipour et al., 2015). The purpose of this paper is to provide a way to find the "lowest cost depth" for installing subsurface drains.

Materials and Methods

The costs can be divided into three groups. The first group is the costs that do not depend on the digging time and the depth of the drainage installation; if the drains are installed at any depth, these costs do not change per unit length of subsurface drains. These include the cost of purchasing the filtered pipe, the cost of constructing lateral outlets to collectors, etc. The second group is the costs that depend on the depth of drainage installation and the digging time, such as the cost of capital depreciation to purchase a trencher. By increasing the installation depth of the drain, the digging speed will be reduced, thus reducing the total length of the digging. The third group is the costs that are a function of the drainage installation depth but are not a function of the digging speed, including the cost of constructing of collector drain, which increases with the installation depth of the drain. This paper developed a method for converting these costs into cost per unit area :

$$C_A = C'_1 + C'_v + C'_c \quad (1)$$

C_A is the total cost of constructing a subsurface drainage system; C'_1 , C'_v , and C'_c represent first, second and third groups of construction costs, all in Rial per unit area (ha).

Results and Discussion

According to the drainage equations, the distance between the drains will increase with increasing depth, so increasing drainage depth decreases the first group of costs per unit area. As the drainage depth increases, the volume of soil displacement increases. The trench digging speed decreases, so the second group of costs, including the depreciation costs of the trencher, fuel, and wages increase per unit length of lateralization. C'_c cost, which includes the cost of collector drainage, increases by the depth of drainage installation.

Conclusion

Algebraic operations are possible by converting costs to costs per unit area. Since the drainage density in deep drains is lower and by determining the density of drainage per unit area at each installation depth, the depth that has the lowest cost can be selected as the optimal depth. The raw data for each project may be different; so this data must be collected and used with acceptable accuracy. The cost model is general, but special conditions in some drainage projects may lead to extraordinary costs. In that case, those costs should be converted into costs per unit area similarly and considered as well.

Keywords: Capital cost, Collector drainage, Drainage pipe, Trencher

Article Type: Research Article

* Corresponding Author, E-mail: sharifipour.m@lu.ac.ir

Citation: Saadatpour, F., Sharifipour, M., Liaghat, A., Nasrollahi, A.H., & Saadina, M. (2021). Optimal installation depth of subsurface drains with the aim of reducing construction costs. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(1), 13-23.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.1175

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.1.2.0

Received: 03 March 2021, Accepted: 15 April 2021

Water and Soil Management and Modeling, Year 2021, Vol. 1, No. 1, pp. 13-23

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





عمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی با هدف کاهش هزینه‌های احداث

فاطمه سعادت‌پور^۱، مجید شریفی‌پور^{۲*}، عبدالمجید لیاقت^۳، علی حیدر نصرالهی^۴، مهری سعیدی‌نیا^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران
^۳ استاد، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

چکیده

میلیون‌ها هکتار از اراضی فاریاب جهان نیازمند سامانه زهکشی زیرزمینی هستند ولی کمبود منابع مالی مانع از توسعه به‌موقع این سامانه‌ها می‌شود. به‌همین دلیل ارائه راه‌حل برای کمینه‌سازی هزینه‌های احداث سامانه‌های زهکشی ضرورت دارد. هدف این مقاله ارائه روشی برای یافتن "عمق کم‌ترین هزینه" برای نصب زهکش‌های زیرزمینی است. این هزینه‌ها را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد؛ بخش اول، هزینه‌هایی که تابع مدت زمان حفاری و عمق نصب زهکش نیستند، به‌عبارتی زهکش‌ها در هر عمقی نصب شوند، این هزینه‌ها در واحد طول زهکشی زیرزمینی (لترال‌گذاری) تغییر نمی‌کنند و عبارتند از: هزینه خرید لوله فیلتردار، ساخت خروجی زهکش به لترال، پُر کردن مجدد ترانشه بعد از قرار دادن زهکش، هزینه قطعات مصرفی و تعمیرات و نگهداری ترنچر. بخش دوم، هزینه‌هایی که تابع عمق نصب زهکش و مدت زمان حفاری (سرعت حفاری) هستند. مهم‌ترین این هزینه‌ها، هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر است. با افزایش عمق نصب زهکش سرعت حفاری کم می‌شود، بنابراین کل طول حفاری شده در عمر مفید ترنچر کاهش می‌یابد. علاوه بر آن هزینه سوخت و هزینه دستمزد تیم کاری (شامل راننده، نقشه‌بردار و کارگران) در این گروه جای می‌گیرد. بخش سوم، هزینه‌هایی که تابع عمق نصب زهکش هستند ولی تابع سرعت حفاری نیستند، از جمله هزینه احداث زهکش جمع‌کننده، که با افزایش عمق نصب زهکش، حجم حفاری و انتقال خاک ناشی از آن افزایش می‌یابد. در این مقاله روشی برای تبدیل تک‌تک این هزینه‌ها به هزینه در واحد سطح ارائه می‌شود تا عملیات جبری روی آن‌ها امکان‌پذیر شود. با توجه به این‌که تراکم زهکش‌ها در زهکش‌های عمیق کم‌تر است و با مشخص شدن تراکم زهکش در واحد سطح در هر عمق نصب، می‌توان عمقی که کم‌ترین هزینه را داشته باشد، انتخاب کرد.

واژه‌های کلیدی: ترنچر، زهکش جمع‌کننده، لوله زهکش، هزینه سرمایه‌ای

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sharifipour.m@lu.ac.ir

استناد: سعادت‌پور، ف.، شریفی‌پور، م.، لیاقت، ع.، نصرالهی، ع.ح.، و سعیدی‌نیا، م. (۱۴۰۰). عمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی با هدف کاهش هزینه‌های احداث. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۱)، ۱۳-۲۳.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.1175

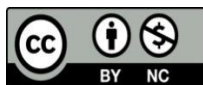
DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.1.2.0

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۱، صفحه ۱۳ تا ۲۳

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

طبق برآورد سازمان ملل متحد، جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۹ تا ۱۰ میلیارد نفر خواهد رسید، بنابراین حفظ قابلیت تولید اراضی فاریاب در برابر خطرات شوری و ماندابی امری ضروری است (United Nations, 2017; Singh, 2018; Xie et al., 2018). به‌عنوان نمونه مطابق برآورد سازمان غذا و کشاورزی ملل متحد، ۳۰ درصد از اراضی فاریاب در عراق قابلیت تولید خود را در اثر شوری از دست داده‌اند و ظرفیت تولید در ۷۰ درصد از اراضی فاریاب باقی‌مانده، کاهش پیدا کرده است (FAO, 2011). تنها راه مقابله با مشکل شوری و ماندابی اراضی کشاورزی، احداث سامانه‌های زهکشی است. زهکشی به فرآیند خارج کردن آب سطحی یا زیرسطحی اضافی از هر منطقه، به‌طور طبیعی یا با استفاده از مجاری سطحی یا زیرسطحی ساخته شده توسط بشر گفته می‌شود که دارای چهار عملکرد اصلی احیای زمین‌های کشاورزی، جلوگیری از شور شدن خاک، پایین آمدن سطح آب زیرزمینی و حذف نمک‌های جمع شده یا عناصر سمی است (ICID, 2019).

زهکشی به توسعه و تنوع بخش کشاورزی کمک کرده و به‌همین ترتیب بخش کشاورزی را رقابتی‌تر و از نظر اقتصادی پایدار ساخته است (Ritzema et al., 2006). از ۱۵۰۰ میلیون هکتار از اراضی زراعی (فاریاب و دیم) تنها حدود ۱۴ درصد آن به انواع زهکشی مجهز شده‌اند، در نتیجه بخش زیادی از اراضی کشاورزی از زهکشی ناکافی و شوری رنج می‌برند (ICID, 2003). پیش‌بینی تولید محصولات کشاورزی در جهان برای رفع نیازهای غذایی و فیبر از سال ۲۰۰۰-۲۰۲۵ نشان می‌دهد که زهکشی حداقل ۱۵-۱۰ میلیون هکتار از اراضی باید بهبود یابد (ICID, 2003).

در میان کشورهای در حال توسعه، مصر بزرگ‌ترین اراضی مجهز به زهکشی زیرزمینی با وسعت حدود ۲/۵ میلیون هکتار را در اختیار دارد (Amer et al., 1989)، البته بخش وسیعی از اراضی آبیاری شده کشورهای مانند پاکستان، چین، ترکیه، ایران و هند نیز به زهکشی زیرزمینی مجهز هستند (Framji et al., 1984; ICID, 2003). زهکشی زیرزمینی تاریخچه‌ای طولانی دارد. قدیمی‌ترین سیستم‌های شناخته شده حدود ۹۰۰۰ سال پیش در بین‌النهرین کشف شدند (Ritzema et al., 2006). در کتابی که در حدود ۳۰۰۰ سال پیش در چین نگاشته شده، نقشه‌هایی از سامانه زهکشی مشاهده می‌شود که در آن زمان از لوله‌های بامبو به‌عنوان زهکش استفاده می‌شده است (Nijland et al., 2005; Bos, 2001). زهکشی زیرزمینی که امروزه متداول است، ابتدا در سال ۱۸۱۰ در انگلستان به‌کار گرفته شد، سپس در قاره اروپا گسترش یافت. تولید تنبوشه‌های سفالی در سال ۱۸۴۵

در انگلستان آغاز شد. در سال ۱۹۶۰ با ابداع لوله‌های پلاستیکی با دیواره صاف و بعد از مدتی با ابداع لوله‌های خرطومی انجام عملیات زهکشی شتاب قابل ملاحظه‌ای پیدا کرد (Ven, 2004). در نیمه اول قرن بیستم، زهکشی و کنترل شوری مبتنی بر شیوه علمی پایه‌گذاری شد (Wesseling, 1973; Ritzema, 1994; Skaggs and van Schilfhaarde, 1999).

امروزه در هر سال نزدیک به ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار هکتار زهکشی زیرزمینی با عمق زیاد در جهان اجرا می‌شود (Smedema, 2007). اگرچه زهکش‌های عمیق‌تر، که فاصله آن‌ها بیش‌تر و در نتیجه طول آن‌ها در واحد سطح کم‌تر است، هزینه احداث پایین‌تری دارند اما امروزه گرایش به کاهش عمق زهکش‌ها در مناطق خشک جهان رو به فزونی است. علت اصلی این امر را باید در ارزش‌های والای محیط زیست، که از همه جوانب با خطر روبه‌روست، جستجو کرد. Smedema (2007) در مطالعه‌ای عمق بهینه‌نصب زهکش‌های زیرزمینی را با هدف کنترل شوری و ماندابی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مورد بررسی قرار داد. وی مناطق دارای اقلیم شدیداً خشک، آب زیرزمینی شور و خاک‌های دارای کاپیلاری بالا را شدیداً مستعد شور شدن دانسته و برای این مناطق عمق بین ۱/۶ تا ۲/۰ متر را توصیه نموده است. همچنین عمق ۱/۲ تا ۲/۰ متر را به‌عنوان بازه نرمال برای نصب زهکش‌ها پیشنهاد کرده است. ولی همین محقق در گزارش خود تأکید کرده که اعماق بین ۱/۲ تا ۱/۵ متر برای مواردی توصیه می‌شوند که هیچ‌گونه خطر شوری را به وجود نیاورند. (Hornbuckle et al., 2007) با اشاره به این موضوع که در زهکش‌های کم‌عمق تخلیه آب از ناحیه ریشه سریعاً روی می‌دهد، کارایی زهکش‌های کم‌عمق را در شستشوی سریع نمک از پروفیل خاک بیش‌تر دانسته‌اند. با این وجود به این نکته نیز اشاره کرده‌اند که در شرایطی که تبخیر بالا بوده و جریان کاپیلاری نیز سهم قابل توجهی در تجمع نمک در خاک داشته باشد، زهکش‌های کم‌عمق به‌تنهایی نمی‌توانند از تجمع نمک در ناحیه ریشه جلوگیری کنند و در درازمدت این سامانه‌ها ناکارآمد خواهند بود.

عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی از پارامترهای مهم در طراحی شبکه‌های زهکشی بوده و انتخاب عمق نصب مناسب در عملکرد مطلوب سیستم‌های زهکشی نقش مهمی را ایفا می‌کند. عمق بهینه‌نصب زهکش، عمقی است که ضمن برآوردن نیازهای تهویه و حفظ کیفیت خاک (به‌ویژه از نظر شوری) کم‌ترین هزینه را در برداشته باشد و در مناطقی با آب زیرزمینی شور و کم‌عمق، دارای کم‌ترین تداخل با آب زیرزمینی بوده و موجب تخلیه آن نشود

در بررسی و تحلیل طرح‌های زهکشی اثرات محیط زیستی به‌طور مشخص در نظر گرفته می‌شود، اما تحلیل اقتصادی یک طرح به‌طور مجزا نیز صورت می‌گیرد. در ایران با در نظر گرفتن فهرست بهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، به‌طور معمول زهکش‌های با عمق نزدیک دو متر کم‌ترین هزینه مالی را دارند. در پژوهش (Haji Rajabi and Mazandaranizadeh (2015) که روی اطلاعات کشت و صنعت سلمان فارسی انجام گرفت، عمق بهینه نصب حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی چندهدفه AMOSA، حد فاصل ۱/۲ تا ۱/۸ متر اعلام کردند. ایشان برای محاسبه هزینه‌های احداث از فهرست بهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استفاده کردند.

در نیم قرن اخیر به عمق زهکشی بیش‌تر به‌عنوان یک مفهوم اقتصادی نگریسته شده است. هزینه احداث زهکش‌های عمیق در واحد طول، بیش‌تر از زهکش‌های کم‌عمق است. چرا که با افزایش عمق کارگذاری زهکش‌ها، حجم جابه‌جایی خاک افزایش و سرعت حفر ترانشه توسط ترنچر کاهش می‌یابد، بنابراین هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر در واحد طول لترال‌گذاری که از عمده‌ترین هزینه‌های زهکشی زیرزمینی است، افزایش پیدا می‌کند. این کاهش راندمان در اعماق بیش از دو متر به‌صورت تصاعدی خواهد بود (Kahlowan and Khan, 2004) و هزینه‌های زهکشی را به‌شدت افزایش می‌دهد. ولی از سوی دیگر، طول لترال‌های زهکش در واحد سطح، در زهکش‌های کم‌عمق بیش‌تر است. بدین ترتیب عمق زهکشی مناسب، عمقی در نظر گرفته می‌شده که هزینه احداث سامانه زهکشی را به حداقل برساند (Akram et al., 2013). یکی از راهبردهای تعیین عمق زهکش‌ها که توسط اداره عمران اراضی ایالات متحده^۱ پشتیبانی می‌شود، همین راهبرد "عمق کم‌ترین هزینه" است، که در حقیقت یافتن عمقی است که با ترکیب این دو عامل، هزینه‌های اجرایی را به حداقل برساند (Smedema, 2007).

در پژوهش (Soleimani Nadnagani et al. (2011 مدلی با هدف کاهش هزینه احداث شبکه‌های لوله‌های زهکشی زیرزمینی در واحد سطح برای منطقه بهشهر اجرا کردند. در این پژوهش نیز هزینه‌ها بر اساس فهرست بهای واحد آبیاری و زهکشی برآورد شده است. نتایج نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش‌ها، هزینه در واحد سطح کاهش می‌یابد، اما این کاهش هزینه همواره یکنواخت نیست و در اعماق کم‌تر از ۱/۸ متر با شدت بیش‌تر و در اعماق بیش‌تر از ۱/۸ متر با شدت کم‌تر رخ می‌دهد. هم‌چنین به‌دلیل اضافه بهای خاک‌برداری، در عمق ۱/۹ متر، هزینه در واحد سطح در این

(Sharifipour et al., 2015). در انجام هر طرح عمرانی علاوه بر رعایت مسائل فنی، جنبه اقتصادی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است، به‌ویژه اگر آن طرح در سطوح بالا اجرا شود، و گاهی مد نظر قرار دادن یک نکته باعث صرفه‌جویی میلیاردی ریال خواهد شد (Soleimani Nadnagani et al., 2011).

به‌دلیل اثر پیچیده عمق نصب زهکش بر عملکرد گیاه، بازده اقتصادی طرح و هم‌چنین مسائل محیط زیستی، ضرورت دارد عمق بهینه نصب زهکش‌ها به‌نحوی انتخاب شود که حداکثر بازده اقتصادی با حداقل اثرات سوء محیط زیستی را در برداشته باشد (Nazari et al., 2008). مطالعات (Kale (2011 در اراضی خشک منطقه Bala Basin در ترکیه نشان داد که حداکثر بازده محصول، طبق نتایج شبیه‌سازی ۹۰ درصد بازده برای محصول ذرت و ۱۰۰ درصد بازده برای محصول گندم، در عمق ۱/۲ متری به‌دست می‌آید. (Ritzema et al. (2008 اثر عمق زهکش‌ها را بر کارایی اقتصادی (عملکرد محصول) در دشت‌هایی از هندوستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که عمق توصیه شده ۱/۷۵ تا ۱/۴۰ متری برای زهکش‌های زیرزمینی در دشت‌های نیمه‌خشک رودخانه گنگ در ایالت هاریانای هندوستان، که البته دارای خاک با بافت متوسط و ۷۰۰-۵۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه هستند به ۱/۵۰ تا ۱/۱۰ متر کاهش یابد.

فواصل زهکش‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی نیز عامل مهمی در تعیین شاخص‌های اقتصادی است، به‌نحوی که با افزایش فواصل می‌توان هزینه‌های اجرایی طرح را در حد مطلوب کاهش داد (Asgari et al., 2011). در این راستا، (Chahar and Vadodaria (2010 با هدف بهینه کردن فاصله زهکش‌های زیرزمینی که به‌صورت کانال‌های زهکشی بودند، و کف این کانال‌ها به لایه غیرقابل نفوذ منتهی شده بود، به یافتن فاصله مناسب بین زهکش‌ها پرداختند. آن‌ها با استفاده از برازش خطی تک متغیره و با دریافت متغیرهای ورودی نظیر شدت بارندگی، هدایت هیدرولیکی و هزینه پمپاژ توانستند معادله‌ای برای محاسبه فاصله بهینه بین کانال‌های زهکشی پیشنهاد دهند. هم‌چنین، (Kannan (2008 به مطالعه ارتباط بین دبی خروجی از زهکش و افت سطح ایستابی و کاربرد آن در اقتصادی نمودن طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی از نوع کانال عمیق در زمین‌های باتلاقی پرداخت. نتایج این مطالعه نشان داد که نسبت فاصله زهکش به عمق زهکشی می‌تواند یک عامل تعیین‌کننده برای انتخاب مقدار بهینه عمق و فاصله زهکش‌ها باشد، به‌طوری‌که برای یک ضریب زهکشی معین، روند کاهش هزینه در نسبت‌های کوچک‌تر فاصله به عمق، بیش‌تر می‌شود.

1- United States Bureau of Reclamation (USBR)

برای یافتن عمق بهینه‌ی اقتصادی نصب زهکشی‌های زیرزمینی، ابتدا بایست اقلام هزینه‌ای طرح سامانه‌ی زهکشی را مورد بررسی قرار داد. هزینه‌ی یک سامانه زهکشی در سطح مزرعه شامل مواردی چون هزینه‌ی خرید لوله فیلتردار، ساخت خروجی زهکشی به لترال، پُر کردن مجدد ترانشه بعد از قرار دادن زهکشی، هزینه‌ی قطعات مصرفی و تعمیرات و نگهداری ترنچر، هزینه‌ی استهلاک سرمایه خرید ترنچر، هزینه‌ی احداث زهکشی جمع‌کننده، هزینه‌ی سوخت و هزینه‌ی دستمزد تیم‌کاری (شامل راننده، نقشه‌بردار و کارگران) است. برخی از این اقلام هزینه‌ای تابع مدت زمان حفاری و عمق نصب زهکشی نیستند، به‌عبارتی زهکشی‌ها در هر عمقی نصب شوند، این هزینه‌ها در واحد طول زهکشی زیرزمینی (لترال‌گذاری) تغییر نمی‌کنند. اما برخی اقلام تابع عمق نصب زهکشی و مدت زمان حفاری (سرعت حفاری) هستند و معمولاً با افزایش عمق نصب افزایش می‌یابند. گروه دیگری از هزینه‌ها تابع عمق نصب زهکشی هستند ولی تابع سرعت حفاری نیستند. شکل شماره ۱ تقسیم‌بندی هزینه‌های یک طرح زهکشی را بر این اساس نمایش می‌دهد.

عمق افزایش نسبی یافته و سپس روند نزولی خود را ادامه می‌دهد. این محققین عمق بهینه‌ی هزینه‌های احداث شبکه‌ی لوله‌های زهکشی را ۲/۸ متر اعلام کردند.

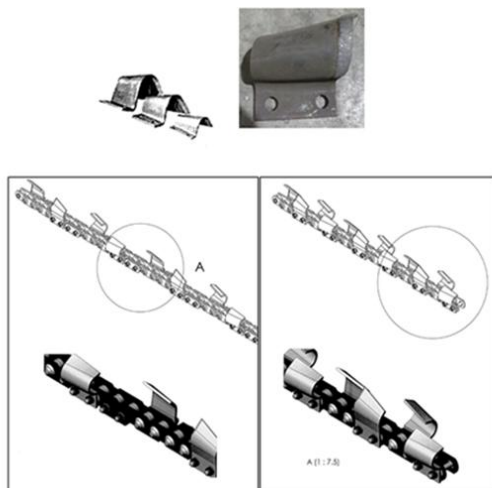
از آنجایی که در کشور ما در سال‌های گذشته سرمایه‌گذاری عظیمی برای توسعه‌ی طرح‌های زهکشی انجام گرفته و جریان این سرمایه‌گذاری هم‌چنان ادامه دارد، تجزیه و تحلیل اقتصادی هزینه‌های این طرح‌ها می‌تواند مفید باشد و موجب کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای شود. چنان‌که گفته شد در بسیاری از پژوهش‌های پیشین از فهرست‌بهای سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی برای محاسبه‌ی هزینه‌ها استفاده شده است. هر چند استفاده از فهرست‌بهای رسمی مبنای حقوقی دقیقی ایجاد می‌کند، اما هر یک از آیتم‌های فهرست‌بها معمولاً بر مبنای محاسبه‌ای تفصیلی ایجاد می‌شود و انجام کارهای پژوهشی مانند پژوهش حاضر می‌تواند بر دیدگاه تدوین‌کننده چنین اسنادی مؤثر باشد.

۲- هزینه‌های سامانه‌ی زهکشی



شکل ۱- هزینه‌های یک طرح سامانه‌ی زهکشی
Figure 1- Costs of a drainage system design

هزینه قطعات مصرفی ترنچر (C_W)^۴ توسط کارخانه‌های سازنده بر حسب تومان بر متر طول ارائه می‌شود. این قطعات عمدتاً شامل تعویض تیغه حفاری دستگاه ترنچر است (شکل ۲).



شکل ۲- تیغه حفاری دستگاه ترنچر
Figure 2- Drilling blade of Trencher machine

هزینه تعمیرات و نگهداری ترنچر (C_M)^۵ توسط کارخانه‌های سازنده بر حسب کیلومتر کارکرد اعلام می‌شود و به راحتی می‌تواند بر حسب تومان بر متر طول محاسبه شود.

$$C_M = \frac{\text{هزینه تعمیرات و نگهداری ترنچر}}{\text{طول زهکش}} \quad (۳)$$

هزینه‌های گروه یک (شکل ۱) در واحد طول ثابت هستند و ربطی به عمق زهکش‌ها ندارند. به عبارتی زهکش‌ها در هر عمقی نصب شوند، این هزینه‌ها در واحد طول زهکشی زیرزمینی تغییر نمی‌کنند. مجموع این هزینه‌ها در واحد طول با C_1 مطابق رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$C_1 = C_P + C_O + C_B + C_W + C_M \quad (۴)$$

طبق معادله زهکشی فاصله زهکش‌ها با افزایش عمق افزایش خواهد یافت، بنابراین مجموع هزینه‌های ثابت در واحد طول لترال گذاری (C_1) با افزایش عمق زهکشی، کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۳) مساحت تحت زهکشی هر لترال برابر است با:

$$A = L' \times L \quad (۵)$$

در این رابطه A ، L' و L بیان‌گر مساحت تحت زهکشی هر لترال (مترمربع)، طول لترال (متر) و فاصله بین لترال‌ها (متر) است. بنابراین با توجه به مساحت تحت زهکشی هر لترال، هزینه C_1 در واحد سطح (هکتار) برابر خواهد بود با:

$$C_1' = 10000 \frac{C_1}{L} \quad (۶)$$

۱-۲- هزینه‌های گروه یک: هزینه‌هایی که در واحد طول لترال‌گذاری ثابت بوده و تابع مدت زمان حفاری ترانشه زهکشی نیستند.

سامانه‌های زهکشی زیرزمینی شامل مجموعه‌ای از لوله‌های مشبک برای جمع‌آوری زه‌آب (لترال‌ها) و زهکش‌های جمع‌کننده (کلکتور) برای انتقال و تخلیه آن هستند. تا یک دهه قبل، پوشش‌های شن و ماسه رایج‌ترین نوع پوشش مورد استفاده بودند و بخش قابل توجهی از هزینه‌های اجرایی یک پروژه زهکشی را به خود اختصاص می‌دادند (Hassanoghli, 2010; Kabusi, 2006). امروزه در ایران که زهکشی برای کنترل ماندابی و شوری خاک به کار می‌رود، با توجه به کمبود شن و ماسه و مشکلات تأمین آن به‌ویژه در استان خوزستان، از فیلترهای مصنوعی به‌عنوان جایگزینی مناسب و در عین حال ارزان‌قیمت برای پوشش‌های رایج معدنی استفاده می‌شود (Akram and Lotfi, 2015). البته فاصله زهکش‌ها با تعمیق آن‌ها افزایش خواهد یافت و ممکن است این افزایش فاصله، و در نتیجه افزایش مساحت تحت پوشش هر لترال، به‌گونه‌ای باشد که ناگزیر از لوله با قطر بیش‌تر استفاده شود. هزینه خرید لوله فیلتردار (C_P)^۱ بر حسب تومان بر متر طول محاسبه می‌شود.

هزینه ساخت خروجی لترال به زهکش جمع‌کننده شامل هزینه‌های لودر، ماشین آب‌پاش، بیل مکانیکی، خرید آهک، خرید لوله پلی‌اتیلن، کارگر ساده، نقشه‌بردار و کمک نقشه‌بردار است. این سازه در انتهای هر خط لترال وجود دارد. هزینه احداث خروجی لترال به زهکش جمع‌کننده (C_O)^۲ را می‌توان بر حسب تومان بر متر طول به‌صورت زیر بیان کرد.

$$C_O = \frac{\text{هزینه ساخت هر سازه خروجی لترال به زهکش جمع‌کننده}}{\text{طول زهکش}} \quad (۱)$$

با توجه به توان بالای ماشین‌آلاتی که معمولاً برای پر کردن مجدد ترانشه استفاده می‌شوند (مانند گریدر)، برگرداندن خاک حفاری ترانشه در اعماق مرسوم برای این ماشین‌آلات تفاوتی ندارد. به عبارت دیگر، گریدر در مسیر حرکت خود خاک را بر می‌گرداند و عمق کم یا زیاد حفاری تأثیری در انرژی مصرفی و سرعت آن ندارد. معمولاً چهار یا پنج خط که آماده بک‌فیل شوند (۲۵۰۰-۲۰۰۰ متر) یک دستگاه گریدر ترانشه‌ها را پر می‌کند. هزینه پر کردن مجدد ترانشه (C_B)^۳ را هم می‌توان بر حسب تومان بر متر طول بیان کرد.

$$C_B = \frac{\text{هزینه بک‌فیل کردن}}{\text{طول زهکش}} \quad (۲)$$

وام به صورت سالانه پرداخت می‌شود، و برای در نظر گرفتن اثر تورم، میزان اقساط هر ساله متناسب با نرخ تورم افزایش پیدا می‌کند. مبلغ بازپرداخت در سال اول طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{P(1+i)}{n} \quad (7)$$

در این رابطه I ، P ، i و n بیانگر مبلغ قسط ماهانه در سال اول (تومان)، اصل مبلغ تسهیلات اعطایی (تومان)، نرخ تورم سرمایه و دستمزد به صورت سالیانه (درصد) و عمر مفید ترنچر هستند. همچنین مبلغ بازپرداخت در سال‌های آینده از رابطه ۸ قابل محاسبه است.

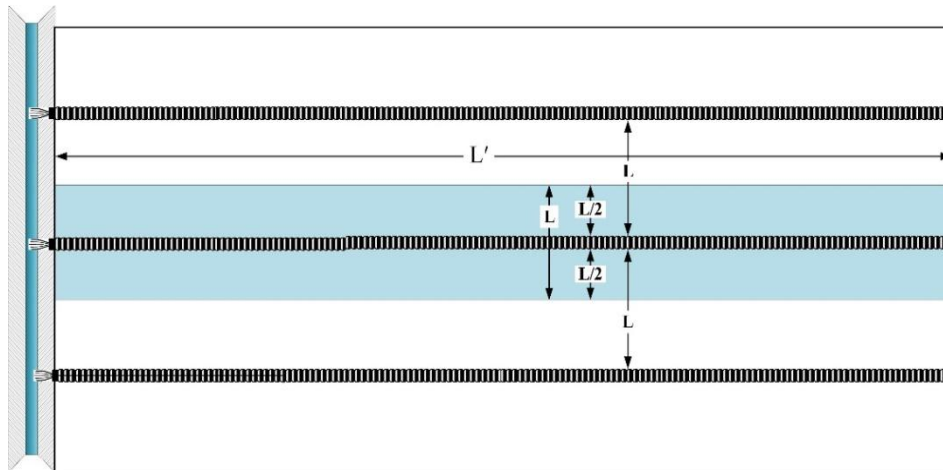
$$I_j = I(1+i)^{j-1} \quad (8)$$

که در آن I_j و j به ترتیب نشان دهنده مبلغ بازپرداخت در سال‌های آینده (تومان) و سال پرداخت هر یک از اقساط است. I نیز قبلاً تعریف شده است.

که در آن C' مجموع هزینه‌های ثابت در طول لترال گذاری (تومان بر هکتار) است و L و C_1 در رابطه‌های قبل تعریف شده‌اند. مطابق رابطه ۶ مجموع هزینه‌های گروه اول در واحد سطح (هکتار) با افزایش فواصل زهکش (افزایش عمق) کاهش خواهد یافت.

۲-۲- هزینه‌های گروه دو: هزینه‌هایی که تابع مدت زمان حفاری (سرعت حفاری) و عمق نصب زهکش هستند.

با افزایش عمق زهکشی سرعت ترنچر کاهش می‌یابد که این خود باعث بالا رفتن هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر می‌شود (سرعت ترنچر را در اعماق مختلف می‌توان اندازه‌گیری کرد و با پرسش از شرکت‌های سازنده و پیمان‌کاران تخمین زد). اگر برای تهیه سرمایه خرید ترنچر وام گرفته شود و در طول عمر ترنچر بازپرداخت شود، مقدار اقساط سالیانه، همان هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر در یک سال خواهد بود. اقساط این



شکل ۳- مساحت تحت زهکشی هر خط لترال
Figure 3- Drainage area of each lateral line

است. بنابراین هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر $(0 < K < 1)$ در واحد طول لترال گذاری برابر است با:

$$C_T = \frac{I}{M} \quad (10)$$

که در آن C_T هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر در هر سال (تومان بر متر طول) است. متغیرهای I و M نیز در رابطه‌های قبل تعریف شده‌اند.

با افزایش عمق زهکشی، طول حفاری شده در یک روز کاری توسط ترنچر کاهش می‌یابد. با توجه به این که ترنچرها در زمان حفاری از حداکثر قدرت موتور استفاده می‌کنند، بنابراین مصرف سوخت ترنچر نیز در واحد طول حفاری افزایش می‌یابد. زمان کارکرد ترنچر را می‌توان طبق فرمول زیر محاسبه کرد.

ولی باید توجه داشت که به علت شرایط محیطی (بارندگی و رطوبت بالای خاک) در تمامی روزهای کاری سال، ترنچر قادر به فعالیت در زمین نیست. بنابراین با در نظر گرفتن عامل کاهنده (K) مقدار روزهای مفید کاری منظور خواهد شد. این عامل در هر منطقه متفاوت بوده و بنا به تجربه پیمانکاران محلی تعیین می‌شود. متراژ ترانشه حفاری شده در سال طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$M = V \times T \times K \quad (9)$$

در رابطه فوق، M بیانگر متراژ حفاری شده در سال (متر)، V نشان دهنده سرعت ترنچر (متر بر ساعت)، T نشان دهنده تعداد ساعات کاری در یک سال (ساعت) و K مربوط به عامل کاهنده

افزایش عمق زهکش‌ها، هر چند عمق آب در زهکش، ارتفاع سرریز آزاد و عرض کف زهکش تغییر نکنند، ولی حجم خاک‌برداری به مقدار زیاد افزایش خواهد یافت. ناحیه هاشور زده شده در شکل ۴ (ب) حجم خاک‌برداری اضافی ناشی از افزایش عمق زهکش‌ها را نشان می‌دهد.

هر کلکتور، با فرض این که فقط از یک سمت زهاب لترال‌ها را جمع‌آوری کند، مساحتی به اندازه طول کلکتور ضرب در طول لترال‌ها را زهکش می‌کند. بنابراین هر واحد طول کلکتور، زهاب مساحتی به اندازه طول لترال ضرب در یک را جمع‌آوری می‌کند. هزینه احداث هر متر کلکتور مطابق رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود.

$$C_C = (by + zy^2) \times E \quad (15)$$

که در آن C_C : هزینه احداث کلکتور (تومان بر متر طول)، y : عمق کلکتور (متر)، b : عرض کف کلکتور (متر)، z : شیب دیواره و E : هزینه هر مترمکعب خاک‌برداری و حمل خاک^۳ (تومان بر مترمکعب) می‌باشد. قابل ذکر است که هزینه احداث کلکتور در واحد سطح مزرعه (C'_C : تومان بر هکتار) بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$C'_C = \frac{by + zy^2}{\frac{1 \times L}{10000}} \times E \quad (16)$$

هزینه احداث کلکتور روباز تابع نوع خاک، زیر یا بالای سطح ایستایی بودن و لجنی بودن است. ولی برای یک پروژه واحد، این موارد احتمالاً یکسان خواهند بود که در این محاسبات برای اجتناب از پیچیدگی بیش از حد، این موارد یکسان فرض شده‌اند. نحوه محاسبه هزینه کلکتور در این جا بر اساس سامانه زهکشی منفرد است، یعنی حالتی که لترال به جمع‌کننده روباز تخلیه می‌شود. تقریباً می‌توان گفت هزینه احداث جمع‌کننده‌های لوله‌ای با افزایش یا کاهش عمق لترال تغییر چندانی نمی‌کند. بنابراین چنانچه جمع‌کننده لوله‌ای باشد، می‌توان ردیف مربوطه را در محاسبات شرح داده شده حذف نمود. بنابراین هزینه‌های گروه سوم، فقط شامل هزینه زهکش جمع‌کننده (C'_C) است.

۳- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش شناسایی اقلام هزینه‌ای احداث سامانه‌های زهکشی و ارائه مدلی به‌منظور کاهش این هزینه‌ها است. از آنجایی که اجرای عملیات زهکشی شامل هزینه‌های هنگفتی است، انتخاب صحیح و اجرای دقیق پارامترهای زهکشی می‌تواند در کاهش این هزینه‌ها تا حد زیادی مؤثر واقع شود. بنابراین تابع هدف باید به‌گونه‌ای باشد که کل هزینه‌ها را کاهش دهد.

$$C_A = C'_I + C'_V + C'_C \quad (17)$$

C_A کل هزینه‌های احداث یک سامانه زهکشی زیرزمینی (تومان

ترنچر باید بعد از احداث هر خط لترال در شرایط بدون بار، به ابتدای خط برگردد. بنابراین هزینه سوخت در واحد طول لترال-گذاری با رابطه ۱۱ قابل محاسبه است. هزینه سوخت ترنچر (C_F) در هر متر برابر است با:

$$C_F = \left[\left(\frac{U}{V} \right) + \left(\frac{U'}{V'} \right) \right] \times p \quad (11)$$

که در آن C_F مربوط به هزینه سوخت ترنچر (تومان بر متر طول)، U و U' به ترتیب مربوط به مصرف سوخت ترنچر در حالت با بار و بدون بار (لیتر بر ساعت)، V و V' به ترتیب بیان‌گر سرعت ترنچر در حالت با بار و بدون بار (متر بر ساعت) و P نشان‌دهنده قیمت گازوئیل در هر لیتر (تومان بر لیتر) هستند.

هزینه دستمزد راننده، نقشه‌بردار و کارگران (C_S) در سال یک عدد مشخص است که تقسیم بر طول حفاری ترانشه در سال می‌شود، و به‌صورت تومان بر متر طول می‌توان محاسبه کرد.

$$C_S = \frac{[(C_{SD} + C_{SS} + C_{SW}) \times \beta] \times 12}{M} \quad (12)$$

در رابطه بالا C_S : هزینه دستمزد (تومان بر متر طول)، C_{SD} : کارگران C_{SS} و C_{SW} : به ترتیب هزینه دستمزد راننده، نقشه‌بردار و کارگران (تومان)، β : ضریب بالاسری پیمانکاری (درصد) و M : طول حفاری ترانشه در سال (متر) که با توجه به رابطه ۹ قابل محاسبه است.

هزینه‌های گروه دوم تابع سرعت ترنچر هستند و با افزایش عمق افزایش می‌یابند. مجموع این هزینه‌ها با C_V مطابق رابطه زیر نشان داده می‌شود.

$$C_V = C_T + C_F + C_S \quad (13)$$

این هزینه‌ها در هر عمق یک عدد متفاوت خواهد بود. با استفاده از معادلات زهکشی، فاصله زهکش‌ها در یک عمق مشخص برابر با L می‌شود، بنابراین هزینه C_V در واحد سطح (هکتار) برابر خواهد بود با:

$$C'_V = 10000 \frac{C_V}{L} \quad (14)$$

که در آن C'_V نشان‌دهنده مجموع هزینه‌های تابع سرعت حفاری ترنچر (تومان بر هکتار) است. همچنین، L و C_V قبلاً تعریف شده‌اند.

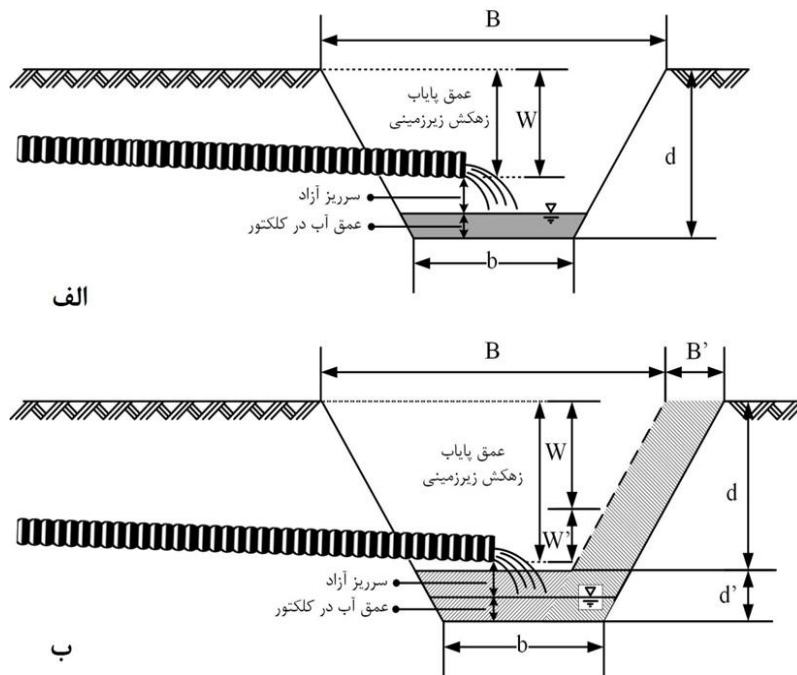
۳-۲- هزینه‌های گروه سوم: هزینه‌هایی که تابع عمق

نصب هستند، ولی تابع سرعت حفاری نیستند.

زهکش‌های جمع‌کننده (کلکتور) معمولاً آبراهه‌های دوزنقه‌ای شکل روباز هستند و برای تخلیه خطوط لترال طراحی و اجرا می‌شوند (شکل ۴). رقوم کف کلکتورها با توجه به رقوم پایاب لترال، سرریز آزاد و عمق آزاد در زهکش تعیین می‌شود. بنابراین با

1- Cost of Fuel

2- Cost of working team Salary



شکل ۴- زهکش جمع‌کننده دوزنقه‌ای
Figure 4- Trapezoidal collector drainage

هزینه زهکش جمع‌کننده، که با افزایش عمق نصب زهکش، حجم حفاری و انتقال خاک ناشی از حفاری افزایش می‌یابد. با روش پیشنهاد شده در این مقاله، با تبدیل هزینه‌ها به هزینه در واحد سطح، عملیات جبری روی آن‌ها امکان‌پذیر می‌شود. با توجه به این که تراکم زهکش‌ها در زهکش‌های عمیق کم‌تر است و با مشخص شدن تراکم زهکش در واحد سطح در هر عمق نصب، می‌توان عمقی که کم‌ترین هزینه را داشته باشد، به‌عنوان عمق بهینه انتخاب کرد. در بهره‌برداری از این مدل باید حتماً دو نکته را در نظر داشت؛ اولاً داده‌های خام برای هر پروژه ممکن است متفاوت باشد، مثلاً سرعت حرکت ترنچر در خاک‌های مختلف قاعداً متفاوت است، بنابراین این داده‌ها باید با دقت قابل قبولی برداشت و به کار برده شود. دوماً این مدل هزینه‌ای، یک مدل عمومی است ولی شرایط خاص در بعضی پروژه‌های زهکشی ممکن است منجر به هزینه‌های ویژه‌ای شود. در این صورت آن هزینه‌ها باید به روش مشابهی به هزینه در واحد سطح تبدیل و در نظر گرفته شوند.

سیاسگزاری

بدین‌وسیله از همکاری و مساعدت شرکت دز نوین صنعت در خصوص ارائه اطلاعات مربوط به ترنچرهای زهکشی قدرانی می‌شود.

بر واحد سطح (هکتار)) است که در آن، C'_1 شامل هزینه‌های خرید لوله فیلتردار، ساخت خروجی لترال به زهکش جمع‌کننده، پر کردن مجدد ترانشه، قطعات مصرفی و تعمیرات و نگهداری ترنچر می‌باشد که هر کدام بر حسب تومان بر واحد سطح (هکتار) قابل محاسبه هستند. C'_v عبارتند از هزینه‌های استهلاک سرمایه خرید ترنچر، سوخت و دستمزد تیم کاری (راننده، نقشه‌بردار و کارگران) است که بر حسب تومان بر واحد سطح (هکتار) محاسبه می‌شوند. C'_c شامل هزینه‌های زهکش جمع‌کننده بر حسب تومان بر واحد سطح (هکتار) است. هزینه‌های C'_1 تابع مدت زمان حفاری و عمق نصب زهکش نیستند، به‌عبارتی زهکش‌ها در هر عمقی نصب شوند، این هزینه‌ها در واحد طول زهکشی زیرزمینی (لترال‌گذاری) تغییر نمی‌کنند. طبق معادلات زهکشی فاصله زهکش‌ها با افزایش عمق افزایش خواهد یافت، بنابراین این گروه از هزینه‌ها با افزایش عمق زهکشی، در واحد سطح کاهش می‌یابد.

هزینه‌های C'_v برای احداث زهکش‌های عمیق بیش‌تر از زهکش‌های کم‌عمق است. چرا که با افزایش عمق کارگذاری زهکش‌ها، حجم جابه‌جایی خاک افزایش و سرعت حفر ترانشه توسط ترنچر کاهش می‌یابد، بنابراین هزینه‌های استهلاک سرمایه خرید ترنچر، سوخت و دستمزد که از عمده‌ترین هزینه‌های احداث زهکشی زیرزمینی هستند در واحد طول لترال‌گذاری افزایش پیدا می‌کنند. هزینه‌های C'_c که تابع عمق نصب زهکش هستند ولی تابع سرعت حفاری نیستند. از جمله

منابع

- اکرم، م.، لطفی، ا. (۱۳۹۴). عمق مناسب زهکش‌های زیرزمینی در خوزستان. اولین همایش ملی بررسی ابعاد اجرای طرح توسعه کشاورزی ۵۵۰ هزار هکتاری در لرستان و خوزستان.
- حاجی رجبی، ف.، مازندرانی‌زاده، ح. (۱۳۹۴). بهینه‌سازی پارامترهای طراحی سیستم زهکشی با رویکرد اقتصادی با استفاده از فرآیند بازپخت فلزات. سیزدهمین همایش سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه کرمان.
- حسن‌اقلی، ع. (۱۳۸۹). انتخاب و کاربرد ژئوتکستایل به عنوان پوشش زهکشی زیرسطحی. گزارش فنی، شماره ۲۰. موسسه تحقیقات مهندسی کشاورزی.
- سلیمانی ننادگانی، م.، پارس‌نژاد، م.، نوری، (۱۳۸۹). برآورد هزینه‌های نصب زهکش‌های زیرزمینی لوله‌ای. مجموعه مقالات سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه اهواز.
- شریفی‌پور، م.، علیزاده، ح.ع.، ناصری، ع.، لیاقت، ع.، حسن اقلی، ع. (۱۳۹۴). ملاحظات کشاورزی، زیست‌محیطی و اقتصادی در تعیین عمق زهکش‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مطالعه موردی دشت آزادگان. مدیریت آب در کشاورزی، ۲(۱)، ۷۱-۸۰.
- عسگری، م.ر.، لیاقت، ع.، پارس‌نژاد، م. (۱۳۹۰). تأثیر زهکش‌های جمع‌کننده در کاهش ضریب زهکشی (مطالعه موردی: واحد کشت و صنعت امیرکبیر، خوزستان، آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۴)، ۷۴۶-۷۵۶.
- کابوسی، ک. (۱۳۸۵). بررسی آزمایشگاهی پوسته برنج به‌عنوان پوشش زهکشی زیرسطحی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.
- نظری، ب.، لیاقت، ع.، پارس‌نژاد، م.، ناصری، ع. (۱۳۸۷). بهینه‌سازی عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی با ملاحظات اقتصادی و زیست‌محیطی. پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست.

References

- Akram, M., & Lotfi, A. (2015). Suitable depth of subsurface drainage in Khuzestan. First National Conference on Technical, Economic, Social and Environmental Dimensions of the 550,000-hectare Land Restoration Project in Khuzestan and Ilam (in Persian).
- Akram, M., Azari, A., Nahvi, A., Bakhtiari, Z., & Safaee, H.D. (2013). Subsurface drainage in Khuzestan, Iran: environmentally revisited criteria. *Irrigation and Drainage*, 62(3), 306-314.
- Amer, M.H., Abdel-Dayem, S., Osman, M.A., & Makhlof, M.A. (1989). Recent developments of land drainage in Egypt. Amer, M.H., & Ridder, D., eds., Land drainage in Egypt. Drainage Research Institute (DRI), Cairo, Egypt, 67-93.
- Asgari, M., Liaghat, A., & Parsinezhad, M. (2011). Effectiveness of collector drainage coefficient (A case study: Amir-Kabir Agriculture and Industry Department, Khuzestan Province). *Journal of Water and Soil*, 25(4), 746-756 (in Persian).
- Bos, M.G. (2001). Selecting the drainage method for agricultural land. *Irrigation and Drainage Systems*, 15(3), 269-279.
- Chahar, B.R., & Vadodaria, G.P. (2010). Optimal spacing in an array of fully penetrating ditches for subsurface drainage. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(1), 63-67.
- FAO. (2011). Available online at: <http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx>. Food and Agriculture Organization.
- Framji, K.K., Garg, B.C., & Kaushish, S.P. (1984). Design practices of open drainage channels in an agricultural land drainage system. International Commission on Irrigation and Drainage, 343 pages.
- Haji Rajabi, F., & Mazandaranizadeh, H. (2015). Optimal selection of drainage system design parameters using metal refining process. 9th National Congress on Environment, University of Tehran (in Persian).
- Hassanoghli, A. (2010). Selection and application of geotextile as subsurface drainage envelope, Technical note, No. 20. Agricultural Engineering Research Institute (in Persian).
- Hornbuckle, J.W., Christen, E.W., & Faulkner, R.D. (2007). Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. *Agricultural Water Management*, 89(3), 208-216.
- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). (2003). Important data of ICID Member Countries. Int. Commission on Irrigation and Drainage, database on website: www.icid.org.
- International Commission on Irrigation and Drainage (ICID). Available online: https://www.icid.org/res_drainage.html (accessed on 20 December 2019).
- Kabusi, K. (2006). Laboratory investigation on rice hosts as subsurface drainage envelope. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Department of Irrigation and Reclamation, Karaj, Iran, (in Persian).
- Kahlowan, M.A., & Khan, A.D. (2004). Tile drainage manual. Pakistan Council of Research in Water Resources (PCRWR). Islamabad. Pakistan.
- Kale, S. (2011). Estimating effects of drainage design parameters on crop yields under irrigated lands using DRAINMOD. *Scientific Research and Essays*, 14, 2955-2963.

- Kannan, N. (2008). Study of drawdown–drain discharge relationship and its application in design of cost effective subsurface drainage system in Mugogo Swamp, Busogo, Rwanda. *Water Resources Management*, 22(8), 1113-1125.
- Nazari, B., Liaghat, A., Parsinezah, M., & Naseri, A. (2008). Optimization of the Installation Depth of Subsurface Drainage with Economic and Environmental Considerations. The fifth workshop on drainage and environment (in Persian).
- Nijland, H.J., Croon, F.W., & Ritzema, H.P. (2005). Subsurface Drainage Practices: Guidelines for the implementation, operation and maintenance of subsurface pipe drainage systems. Wageningen, Alterra, ILRI Publication No. 60, pp. 608.
- Ritzema, H.P. (1994). Subsurface flow to drains. *Drainage Principles and Applications*, 16, 263-304.
- Ritzema, H.P., & Braun, H.M.H. (2006). Environmental impact of drainage. In: Ritzema, H.P. (Ed.), *Drainage Principles and Applications*, 16, 3rd edition. ILRI Publication, Alterra-ILRI, Wageningen, 1041–1064.
- Ritzema, H.P., Satyanarayana, T.V., Raman, S., & Boonstra, J. (2008). Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields. *Agricultural Water Management*, 95(3), 179-189.
- Sharifipour, M., Alizadeh, H., Naseri, A., Liaghat, A., & Hasanoghli, A. (2015). Agricultural, Environmental and Economic Considerations in Determining Pipe Drain Depth in Arid and Semi-Arid Regions- Case Study Azadegan Plain. *Water Management in Agriculture*, 2(1), 71-80 (in Persian).
- Singh, A. (2018). Managing the salinization and drainage problems of irrigated areas through remote sensing and GIS techniques. *Ecological Indicators*, 89, 584-589.
- Skaggs, R.W., Van Schilfgaarde, J. (1999). *Agricultural drainage*. Madison, Wisc., USA: American Society of Agronomy.
- Smedema, L.K. (2007). Revisiting currently applied pipe drain depths for waterlogging and salinity control of irrigated land in the (semi) arid zone. *Irrigation and Drainage*, 56(4), 379-387.
- Soleimani Nadnagani, M., Parsiannejad, M., & Nouri, H. (2011). Estimate the cost of installing underground pipe drains. Third National Conference on Irrigation and Drainage Network Management, 2011-02-20 Shahid Chamran University of Ahvaz, 34-41 (in Persian).
- United Nations, 2017. World Population Prospects: 2017 Revision Population Database online at <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm> (accessed on 22nd December 2017).
- Ven, G.P. (2004). Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands. Utrecht: Matrijs.
- Wesseling, J. (1973). Subsurface Flow into Drains in: *Drainage Principle and Applications*, Volume II, Publication 16. International Institute For Land Reclamation.
- Xie, Y.L., Xia, D. X., Ji, L., & Huang, G.H. (2018). An inexact stochastic-fuzzy optimization model for agricultural water allocation and land resources utilization management under considering effective rainfall. *Ecological Indicators*, 92, 301-31.