تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی /دوره ۲۴/شماره ۹۲ /پاییز ۱۴۰۲/صفحه ۱ - ۲۲

نوع مقاله: پژوهشی

بهینه سازی پارامترهای طراحی سیستم زهکش زیرزمینی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و چندجهانی در شرایط ماندگار

ام البنی محمدرضاپور[1*]، میثم سالاری جزی[1]

*۱ و ۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۲/۱۱/۲۸

چکیده

در این تحقیق، مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و چندجهانی برای بهینه سازی پارامترهای اصلی طراحی سیستم زهکشی زیرزمینی زمین‌های کشاورزی منطقه‌ای در اطراف شهرستان گرگان به‌کار گرفته شد. مساحت محدوده احداث سیستم زهکشی در حدود ۲۰۰ هکتار بوده است. این محدوده به ۲۵ قطعه۸ هکتاری تقسیم شد. هزینه‌های طرح بر اساس وضعیت و مشاهدات اقتصادی روز کشور و بر مبنای اعداد و ارقام اجرایی واقعی کشور ایران در سال1397 محاسبه شدند. با استفاده از الگوریتم ژنتیک و چندجهانی، پارامترهای طراحی به گونه‌ای انتخاب شدند که منجر به کمترین هزینهٔ اجرایی سیستم زهکشی زیرزمینی شوند. در این راستا، با تلفیق رابطهٔ ماندگار هوخهات و الگوریتم‌های بهینه سازی، پارامترهای طراحی انتخاب گردیدند. نتایج نشان دادند که با در نظر گرفتن مقادیر اولیه ۱/۵، ۲/۲۵ و ۲/۵ به ترتیب برای پارامترهای شدت تخلیه یا زهکشی از واحد سطح (q)، فاصله لایه غیرقابل نفوذ تا زیر عمق نصب زهکش (D)، عمق تثبیت سطح ایستابی (در وسط دو زهکش) از سطح زمین (H) بهترین پارامترهای طراحی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با توجه به معیارهای اجرایی زهکش‌ها شامل قطر، فاصلهٔ زهکش‌ها، عمق بهینه و هزینه ها برای یک قطعه ۸ هکتاری شامل ۱۰۰ میلی‌متر، ۵۴ متر، ۲/۱۱ متر و ۷۰/۶۰۴ میلیون تومان به‌دست آمده است. در الگوریتم جندجهانی نیز این مقادیر به ترتیب ۱۰۰ میلی متر، ۶۱/۳ متر، ۲/۲۵ متر و ۶۳/۷۰۹ میلیون تومان به‌دست آمده است. مقادیر هزینهٔ طرح با افزایش عمق مجاز نصب زهکش کاهش می‌یابد که کمترین و بیشترین هزینه‌های به‌دست آمده در الگوریتم ژنتیک برای حداکثر عمق مجاز نصب ۱/۷۵ و ۳/۵ متر به ترتیب برابر با ۱۱۰/۲۲۶ و ۵۱/۸۱۴ میلیون تومان و در الگوریتم چندجهانی به ترتیب برابر با ۱۱۰/۲۲۳ و ۵۱/۷۸۲ میلیون تومان به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای طراحی، بهینه‌سازی، سیستم زهکشی، هزینهٔ اجرا

مقدمه

در سال‌های اخیر، برای بهره‌برداری بهتر از منابع آب و خاک در هزاران هکتار از زمین‌ها طرح‌های تجهیز و نوسازی پیاده شده است. با وجود هزینه‌های کلان در این بخش، کاستی‌ها و مشکلات قبل از تجهیز و نوسازی همچنان پا برجاست و به دلیل اینکه زهکش‌های سطحی قابلیت تخلیهٔ سریع آب را ندارند، هدف‌هایی مانند بهبود بهره‌وری، افزایش محصول، جلوگیری از ماندابی‌شدن و امکان کشت دوم محقق نشده است. با توجه به لزوم استفاده از حداکثر پتانسیل زمین‌ها و بهبود بهره‌وری از آنها به دلیل افزایش تقاضا، می‌توان با احداث سیستم‌های زهکشی زیرزمینی در این زمین‌ها، شرایط مناسب را برای کشت محصولاتی غیر از برنج در فصل‌های مرطوب فراهم کرد. سیستم زهکشی زیر سطحی برای حذف آب اضافی، به‌منظور کنترل شوری، شست‌وشوی نمک از خاک و هدف‌های دیگر احداث می‌شود (Chahar & Vadodaria, 2010).

نگارنده مسئول: Email: mohammadrezapour@gau.ac.ir
https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.364354.1568

در طراحی سیستم‌های زهکش زیرزمینی، عمق، قطر و فاصلهٔ زهکش‌ها متغیرهای مهم تصمیم‌گیری هستند که بسته به هدف می توان ترکیبات مختلفی از آنها را به کار برد. در طراحی‌های معمول زهکشی، متغیرهای طراحی عمق و قطر زهکش با استفاده از تجربه و شرایط و امکانات تهیهٔ مصالح تعیین می‌شوند و فاصلهٔ زهکش‌ها، پس از تعیین ضریب زهکشی و بیلان آب با استفاده از معادلهٔ زهکشی هوخهات به دست می‌آیند. از آنجایی که متغیرهای طراحی ذاتاً به هم وابسته هستند می توان از روش هایی برای تعیین بهترین ترکیب متغیرها بهره برد که منجر به حداقل هزینه‌های اجرا شود. مطالعهٔ رابطه میان عمق و فاصلهٔ نصب زهکش موضوع فعالیت بسیاری از محققان بوده است که هر یک سعی در کاهش هزینه‌های اجرای زهکش داشته است. تحقیقات کریستین و اسکیهن (Christen and skehan, 2001) نشان داد زهکش‌های کم عمق، نسبت به زهکش‌های عمیق، آب آبیاری کمتری تخلیه می‌کنند، بنابراین، می‌توانند تلفات آبیاری را کاهش دهند. شوری زهاب این گونه زهکش‌ها کمتر است و مقدار نمک را در مقایسه با زهکش‌های عمیق تا حدود ۹۱ درصد کاهش می‌دهند. نتایج حاصل از تحقیقی با هدف حداقل سازی هزینهٔ کل اجرای سیستم زهکشی در پاکستان نشان می دهد عمق، فاصله و قطر بهینهٔ زهکشی در منطقهٔ مورد نظر به ترتیب ۱/۶ متر ۶۶/۷ و ۹/۲ سانتی‌متر بوده است. فاصلهٔ زهکش‌های اجرا شده در منطقهٔ مطالعاتی ۵۶، ۷۰، ۸۳، ۹۸ و ۱۱۲ متر در عمق‌های ۱/۵، ۱/۷۵، ۲ ، ۲/۲۵ و ۲/۷۵ متر بوده که فواصل پیش‌بینی شده حاصل از مدل به مقادیر اجرا شده شباهت زیادی داشته است (Iqbal *et al*, 2007). اکبری و همکاران (Akbari *et al*, 2009) در تحقیقی در خصوص تعیین قطر لوله‌های زهکش عرضی جاده‌های جنگلی به این نتیجه رسیدند که در برخی از زیرحوزه‌ها، قطر لوله‌های موجود با میزان قطر لوله‌های برآورد شده همسان نیست و نیازمند کاهش یا افزایش است که در نتیجه منجر به کاهش هزینه‌های احداث لوله‌گذاری و تعمیر جاده‌های با قطرهای نامناسب خواهد شد. نتایج حاصل از مطالعه‌ای دیگر با هدف کاهش هزینهٔ احداث شبکه های لوله های زهکشی زیرزمینی در واحد سطح نشان داد که به طور کلی با افزایش عمق نصب لولهٔ زهکش، هزینه در واحد سطح کاهش می‌یابد و در عمق‌های کمتر از ۱/۶ متر کاهش هزینه بیشتر است (Soleimani *et al*., 2010). باگو و همکاران (Bhagu *et al*., 2010) فاصله‌های نصب زهکش زیرزمینی را که به‌صورت کانال‌های زهکشی‌اند و کف آن‌ها به لایه غیر قابل نفوذ منتهی شده است، بهینه سازی کردند. تابع هدف در این مطالعه شامل هزینه‌های خاکبرداری و پمپاژ در نظر گرفته شده بود. در نهایت با استفاده از برازش غیرخطی و با دریافت پارامترهای ورودی مانند شدت بارندگی، هدایت هیدرولیکی، هزینه های پمپاژ و غیره معادله‌ای به منظور محاسبهٔ فاصلهٔ بهینه بین کانال‌های زهکشی ارائه گردیده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد با یافتن فاصلهٔ مناسب بین زهکش‌ها، هزینه‌های اجرایی عملیات زهکشی کاهش می‌یابد. بررسی اثر نصب لوله‌های زهکشی در عمق‌های مختلف و با فاصله‌های مختلف بر کیفیت زهاب در شرایط ماندگار و غیرماندگار با استفاده از مدل آزمایشگاهی و مدل عددی MODFLOW Visual نشان داد که با افزایش عمق نصب زهکش‌ها، مقدار هدایت الکتریکی زهاب، میزان pH ، مقدار TDS ، جریان زهکشی و مقدار نیتروژن خارج شده افزوده می‌شود (Aslani *et al*. 2010). رازی و همکاران (Razi *et al*, 2012) با بررسی تاثیر عمق نصب زهکش بر شوری زهاب خروجی از نیمرخ خاک رس سیلتی در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که بیشینهٔ هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکش‌ها افزایش می‌یابد. تحقیقات متعدد برای تجزیه و تحلیل انواع مختلف سیستم‌های زهکشی زیر سطحی صورت گرفته است. زادش پرگو و همکاران (Zadesh Pargo *et al*, 2015) با استفاده از الگوریتم ژنتیک به بهینه‌سازی پارامترهای طراحی سیستم زهکش زیرزمینی مزارع کشت و صنعت واحد سلمان فارسی پرداختند. نتایج حاصل از خروجی مدل

بهینه سازی نشان داد با کاهش ضریب زهکشی، هزینهٔ اجرای سیستم های زهکشی به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. ولی‌پور (Valipour, 2012) در تحقیقی با استفاده از نرم افزار EnDrain همهٔ پارامترهای زهکشی را تغییر داد و بدین ترتیب تغییرات تخلیه زهکشی در سیستم‌های زهکشی زیرسطحی را بررسی کرد. مازندرانی‌زاده و همکاران (Mazandaranizadeh *et al*, 2016) در تحقیقی از الگوریتم NSGA-II به منظور تعیین مقدار بهینه برای متغیرهای طراحی زهکش شامل قطر، عمق و فاصلهٔ دفن لوله‌های زهکش استفاده کرد. این تحقیق با هدف‌های اقتصادی (کاهش هزینه‌های اجرایی) و زیست محیطی (افزایش کیفیت زهاب خروجی) اجرا شد. نتایج این تحقیق نشان داد که عمق دفن بین ۱/۳ تا ۱/۸ متر، فاصلهٔ ۳۰ تا ۸۰ متر و قطر ۱۰۰ سانتی‌متر برای لوله‌های زهکش منجر به تحقق هر دو هدف می‌شود. مازندرانی‌زاده و همکاران (Mazandaranizadeh *et al*, 2019) در تحقیقی مسئلهٔ بهینه‌سازی پارامترهای طراحی زهکش زیرزمینی شامل قطر، عمق و فاصلهٔ دفن لوله‌های زهکش را با هدف کاهش خسارت‌های محیط زیستی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که به منظور کاهش خسارت محیط زیستی ناشی از اجرای طرح‌های زهکشی، زهکش‌ها در حداقل عمق مجاز نصب قرار داده شوند.

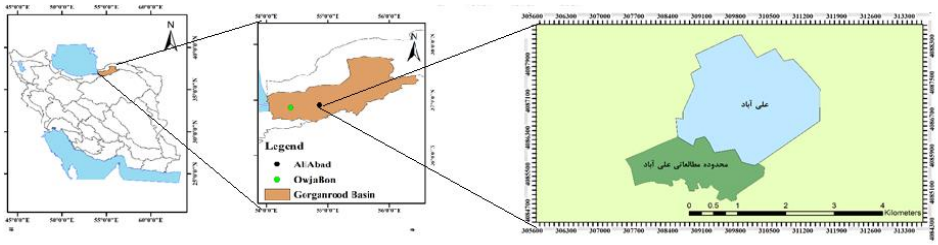
باکور و همکاران (Bakour *et al*, 2021) با هدف یافتن بهترین مقادیر لوله‌ها، فاصله چاه‌های لوله‌ای افت سطح آب زیرزمینی و ساعات کار پمپ‌ها که در نهایت باعث رسیدن به حداقل هزینهٔ کل طراحی زهکشی زیرسطحی می‌شود، تحقیقی را به‌انجام رساندند و نشان دادند که زهکشی عمودی از نظر اقتصادی برای طراحی شبکهٔ زهکشی انتخاب بهتری است. این محققان همچنین می‌گویند تاثیرگذارترین فاکتور در مدل ریاضی پیشنهاد شده برای لوله و چاه زهکشی، فاصلهٔ بین لوله‌ها و چاه‌های لوله‌ای است.

هدف از این تحقیق بهینه‌سازی پارامترهای طراحی سیستم‌های زهکش زیرزمینی با رویکرد اقتصادی است. بهینه‌سازی عبارت است از یافتن بهترین جواب به منظور حداقل یا حداکثر کردن یک یا چند هدف با رعایت قیود مسئله. مطالعهٔ حاضر بر اساس وضعیت و مشاهدات اقتصادی روز کشور و بر مبنای اعداد و ارقام اجرایی واقعی کشور ایران در سال ۱۳۹۷ اجرا شده است. از آنجا که فرضیات و مبانی هیدرولیکی و اعداد اقتصادی به‌کاررفته در این تحقیق بر اساس مطالعهٔ موردی واقعی، آگاهی از ملاحظات و محدویت های مشاورین و پیمانکاران در فضای حقیقی، جستجوی بازار و قیمت‌های روز بنا نهاده شده‌اند، این تحقیق می تواند مبنای تصمیم‌گیری دیگر محققان و مشاورین در خصوص ارائهٔ مدلی برای طراحی دیگر سیستم‌های زهکشی بر اساس حداقل سازی هزینه‌های اجرایی و همچنین ارائهٔ مدل‌های بهینه سازی چند هدفه به کار گرفته شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، زمین‌های ناحیه علی آباد از توابع شهرستان گرگان است که در بخش بالایی دشت‌های دامنه‌ای واقع شده است. این زمین‌ها در طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۵۳ دقیقه شمالی قرار گرفته است. محدوده طرح در علی آباد از شمال به مناطق مسکونی شهر علی آباد، از غرب به زمین‌های زراعی روستای الازمن، از جنوب به تپه‌های لسی دامنه‌ای و از شرق به زمین‌های زراعی جنوب علی آباد محدود می‌شود. وسعت محدودهٔ مورد مطالعه در حدود ۲۰۰ هکتار است. موقعیت این زمین‌ها در شکل (۱) نشان داده شده است.

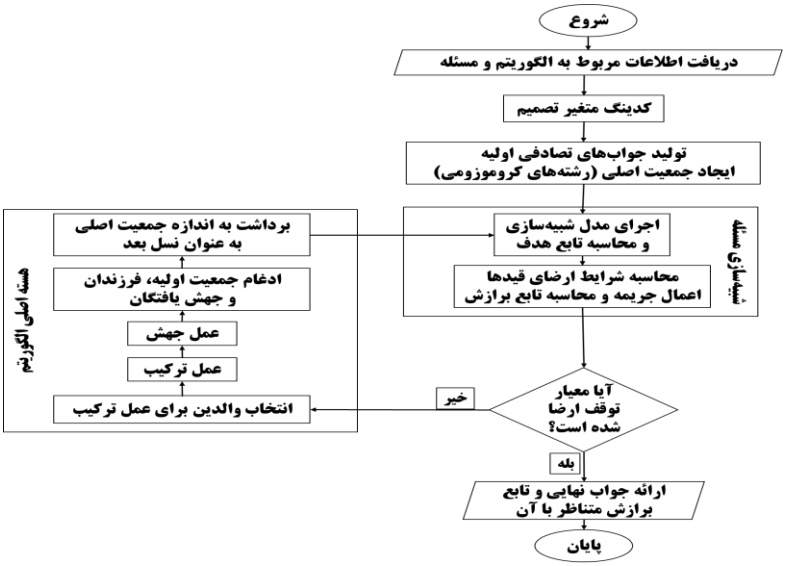


شکل (۱): موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه (منطقهٔ علی آباد)

Figure (1): Location of the study area (Aliabad region)

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک[1] روش بهینه‌سازی الهام‌گرفته از طبیعت جاندار است که می‌توان در طبقه‌بندی‌ها از آن به‌عنوان ی روش عددی، جست‌وجوی مستقیم و تصادفی یاد کرد. این الگوریتم مبتنی بر تکرار است و اصول اولیهٔ آن از علم ژنتیک اقتباس شده است. مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک بدین صورت است که ابتدا یک جمعیت اولیه از افراد بدون در نظر گرفتن معیاری خاص و به‌طور تصادفی انتخاب می‌شود. برای تمامی کروموزوم‌های (افراد) نسل صفر، مقدار برازش با توجه به تابع هدف تعیین می‌شود؛ پس از آن با مکانیسم‌های مختلف تعریف شده برای عملگر انتخاب، زیر مجموعه‌ای از جمعیت اولیه به عنوان والد و مجموعه‌ای دیگر به عنوان افراد کاندیدای جهش انتخاب خواهند شد. سپس روی این افراد انتخاب شده عملیات بُرش و جهش در صورت لزوم با توجه به صورت مسئله انتخاب خواهد شد. حال باید این افراد، که مکانیسم الگوریتم‌های ژنتیک در مورد آنها اعمال شده است، با افراد جمعیت اولیه (نسل صفر) از لحاظ مقدار برازش مقایسه شوند. به هر حال افرادی باقی خواهند ماند که بیشترین برازش را داشته باشند. چنین افرادی در مقام یک مجموعه به‌عنوان جمعیت اولیه برای مرحلهٔ بعدی الگوریتم عمل خواهد کرد. هر مرحله تکرار الگوریتم یک نسل جدید را ایجاد می‌کند که با توجه به اصلاحاتی که در آن صورت پذیرفته است، رو به‌سوی تکامل خواهد داشت (Mohammadrezapour *et al.*, 2011). فلوچارت الگوریتم ژنتیک برای حل یک مسئله بهینه‌سازی به صورت شکل (۲) است.



شکل (۲) : نمودار گردشی الگوریتم ژنتیک

Figure (2): Flow chart of genetic algorithm

[1] - Genetic Algorithm

الگوریتم چندجهانی

نظریهٔ انفجار بزرگ، وقوع یک انفجار بزرگ را آغازگر پیدایش جهان ما می‌داند. بر طبق این نظریه، انفجار بزرگ منشأ همه چیز در این جهان است و هیچ چیز پیش از آن وجود نداشته است. نظریه چندجهانی یکی دیگر از نظریه‌های اخیر و شناخته شده بین فیزیکدانان است. در این نظریه، اعتقاد بر این است که بیش از یک انفجار بزرگ وجود دارد و هر انفجار بزرگ باعث تولد یک جهان می‌شود. اصطلاح چندجهانی[1]، با اصطلاح جهان[2] متفاوت است. این اصطلاح به این موضوع اشاره دارد که جهان‌های دیگری علاوه بر جهانی که ما در آن زندگی می‌کنیم نیز وجود دارد. جهان‌های چندگانه[3] می‌تواند با دیگر نظریه‌های چندجهانی متفاوت یا حتی در تضاد[4] با آن باشد. نظریه چندجهانی نیز نشان می‌دهد که ممکن است قوانین فیزیکی مختلفی در هر یک از جهان‌ها وجود داشته باشد. برای الگوریتم بهینه‌ساز چندجهانی[5] از سه مفهوم اصلی نظریهٔ چندجهانی الهام گرفته شده است. این سه مفهوم وجود سفید چاله‌ها[6]، سیاه چاله‌ها[7] و کرم چاله‌ها[8]است (MirJalili *et al*, 2016). یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت فرایند جست‌وجو را در دو مرحلهٔ اکتشاف و بهره‌برداری پی می‌گیرد. در این الگوریتم از مفاهیم سفید چاله و سیاه چاله برای اکتشاف فضای جست‌وجو استفاده می‌شود. در مقابل، کرم چاله‌ها در بهره‌برداری از فضاهای جست‌وجو کمک می‌کنند. در این الگوریتم فرض می‌شود که هر راه حل شبیه به یک جهان و هر متغیر در این راه حل یک شیئ در این جهان است. علاوه بر این، برای هر راه حل یک میزان تورم تعیین می‌شود که متناسب با مقدار تابع هدف است. در اینجا از اصطلاح زمان به جای تکرار استفاده می‌شود، زیرا اصطلاحی رایج در تئوری چندجهانی و کیهان شناسی است (MirJalili *et al*, 2016).

فلوچارت الگوریتم چندجهانی برای حل مسئله بهینه‌سازی به صورت شکل (۳) است.

شکل (۳) :نمودار گردشی الگوریتم چندجهانی(MirJalili *et al*, 2016)

Figure (3): Flow chart of multi- verse algorithm

[1] - Multi-Verse
[2] - Universe
[3] - Multiple Universes
[4] - Collide
[5] - Multi-Verse Optimizer
[6] - White Holes
[7] - Black Holes
[8] - Wormholes

روابط زهکشی و کنترل قطر

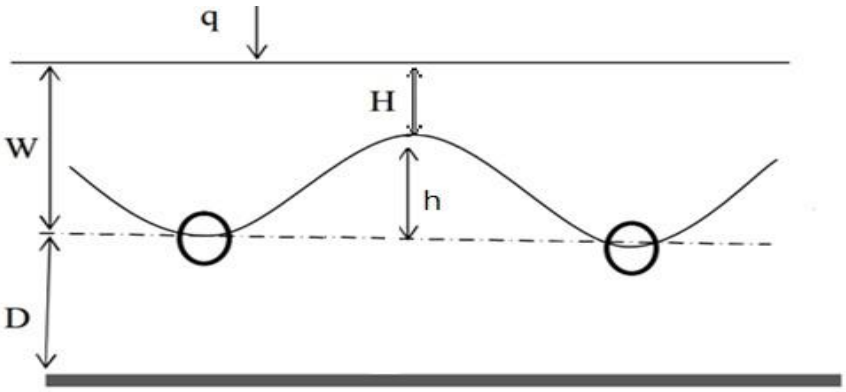
در مطالعهٔ حاضر، با فرض ایجاد شرایط ماندگار در وضعیت سطح آب زیرزمینی و خروجی‌های زهکش، از رابطهٔ هوخهات استفاده شده است. این رابطه پارامترهای اساسی طراحی زهکش شامل عمق، قطر و فاصلهٔ زهکش را با پارامترهای هیدرودینامیکی خاک و شرایط آبیاری مرتبط می‌داند. رابطهٔ هوخهات دارای سه پارامتر قطر، عمق و فاصله نصب زهکش‌هاست. با توجه به اینکه پارامتر قطر، پارامتری گسسته است، دامنهٔ تغییرات کمتری دارد. به منظور محاسبهٔ پارامترهای طراحی، ابتدا قطر و عمق زهکش توسط مدل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم چندجهانی حدس زده می‌شود و پس از آن با استفاده از رابطهٔ هوخهات (رابطهٔ (۱)) فاصلهٔ زهکش‌ها تعیین می‌گردد.

$$S = \sqrt{\frac{8k_b d_e h + 4k_a h^2}{q}} \qquad (۱)$$

که در آن: S فاصلهٔ زهکش برحسب متر، k_a هدایت هیدرولیکی اشباع بالای سطح زهکش برحسب متر در روز، k_b هدایت هیدرولیکی اشباع لایه پایین سطح زهکش برحسب متر در روز، d_e عمق معادل فاصلهٔ سطح زهکش تا لایهٔ غیرقابل نفوذ برحسب متر، h ارتفاع سفرهٔ آب در بخش فوقانی بین دو لولهٔ زهکش برحسب متر، و q شدت تخلیهٔ زهکش برحسب متر در روز است. به منظور محاسبهٔ عمق معادل در فرمول هوخهات، از رابطهٔ (۲) استفاده شده است.

$$d_e = \frac{D}{\left(\frac{8D}{\pi S}\ln\frac{D}{u}\right)} \quad if \quad D < \frac{1}{4}S$$
$$d_e = \frac{\pi S}{\left(8\ln\frac{S}{u}\right)} \quad if \quad D \geq \frac{1}{4}S \qquad (۲)$$

که در آن: d_e عمق معادل برحسب متر، D فاصلهٔ عمودی عمق نصب زهکش و لایهٔ نفوذناپذیر برحسب متر، u محیط خیس شده (نصف محیط لترال) برحسب متر، و S فاصلهٔ زهکش‌ها برحسب متر است. شکل (۴) شمایی از نحوهٔ استقرار لوله‌های زهکش و بیان تصویری پارامترهای معرفی شده را در شرایط ماندگار نشان می‌دهد (Zadesh Pargo *et al*, 2015).



شکل (۴): نحوهٔ استقرار لوله‌های زهکش در حالت ماندگار

Figure (4): How to install drainage pipes in a permanent state

در شکل (۴) h ارتفاع سفرهٔ آب در بالا و بین دو خط زهکش برحسب متر (h=W-H)، و q شدت تخلیهٔ زهکش برحسب متر در روز است. به منظور محاسبهٔ عمق معادل در فرمول هوخهات، از رابطه (۲) استفاده شده است.

با توجه به اینکه در رابطهٔ هوخهات از مسائل عملیاتی مانند گرفتگی لوله در هنگام بهره‌برداری و شیب زمین استفاده نشده است، از این رو دبی محاسبه شده با رابطهٔ هوخهات، با دبی مورد نیاز کنترل می‌شود.

$$Q_{operation} = q\,A \qquad (۳)$$

$$Q_{design} = 38 d^{2.67} i^{0.5} \qquad (۴)$$

$$Q_{design} \geq 1.33 Q_{operation} \qquad (۵)$$

اگر در رابطه‌های بالا A مساحت تحت پوشش توسط یک خط زهکش برحسب مترمربع باشد، $Q_{operation}$ دبی زهاب بهره‌برداری در انتهای لوله‌های زهکش برحسب مترمکعب بر ثانیه خواهد بود. در رابطهٔ (۴)، اگر i شیب خط لوله و d قطر آن باشد، Q_{design} دبی قابل عبور از لوله خواهد بود. حال با توجه به رسوب املاح و کاهش سطح مقطع مفید لوله در هنگام بهره‌برداری، مقدار دبی قابل عبور از لوله (Q_{design}) باید ۳۳ درصد بیش از دبی مورد نیاز ($Q_{operation}$) باشد (Zadesh Pargo *et al*, 2015).

مدل پیشنهادی

انتخاب صحیح و اجرای دقیق پارامترهای زهکشی می‌تواند در کاهش هزینه‌ها، هزینهٔ مواد (مصالح به کار رفته در عملیات زهکشی) و هزینه‌های اجرا، تا حد زیادی مؤثر واقع شود. بنابراین تابع هدف به صورت رابطهٔ (۶) بیان می‌شود (Zadesh Pargo *et al*, 2015).

$$Min\,F:\ F = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \qquad (۶)$$

در عبارت بالا: F تابع هدف یا همان هزینهٔ کل است و C1 تا C4 به ترتیب عبارت‌اند از کل هزینه اجرایی لترال، کل هزینهٔ اجرای کلکتور، هزینه مربوط به منهول و هزینهٔ احداث جاده سرویس. هر یک از هزینه‌های فوق با اجزای کوچک‌تری قابل تفکیک هستند. به گونه‌ای که:

$$C_1 = C_{1a} + C_{1b} + C_{1c} + C_{1d} + C_{1e} \qquad (۷)$$

$$C_2 = C_{2a} + C_{2b} + C_{2c} + C_{2d} + C_{2e} \qquad (۸)$$

که در آن: C_{1a} و C_{2a} به ترتیب هزینهٔ یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1b} و C_{2b} هزینهٔ حفاری، نصب لوله و فیلتر و خاک‌ریزی در واحد متر به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1c} و C_{2c} هزینهٔ تهیه و حمل هر مترمکعب فیلتر شنی دانه‌بندی شده به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1d} و C_{2d} هزینهٔ حمل مواد حاصل از عملیات خاکی برحسب مترمکعب در کیلومتر به ترتیب برای یک متر لولهٔ لترال و کلکتور، C_{1e} و C_{2e} هزینه‌های مربوط به اضافه بها مانند سختی کار در حفاری بیشتر از عمق دو متر و نصب لوله در زیر سطح ایستابی به ترتیب برای یک متر لولهٔ لترال و کلکتور است. هزینه اجرای کل منهول نیز شامل هزینه اجرای یک منهول در تعداد منهول‌های مورد نیاز است.

طول لترال و کلکتور

در تمام محاسبات ضروری است طول لوله‌های لترال و کلکتور محاسبه شود. از این روخواهیم داشت:

$$L_{lt} = \left(\frac{W}{2} - \frac{S}{2}\right) \times 2 \times round\left(\frac{L - \frac{S}{2}}{S} + 1\right) \qquad (۹)$$

$$L_{co} = round\left(L - \frac{S}{2}\right) \qquad (۱۰)$$

در رابطه‌های بالا: L_{lt} طول لترال، L_{co} طول کلکتور، W عرض زمین، L طول زمین و S فاصله بین زهکش‌هاست.

داده های مورد نیاز مدل

در این مطالعه، فاصلهٔ زهکش‌ها ۵۰ متر است. شیب خط لوله یک متر در هر هزار متر طول است، و طول کل لترال‌ها و کلکتورها به ترتیب ۴۵۱۰ متر و ۳۲۰۰ متر است. عمق متوسط لوله‌های لترال و کلکتور نیز به ترتیب ۱/۲ متر و ۲ متر است. دو کیلومتر زهکش روباز نیز در این ناحیه وجود دارد. اطلاعات پایهٔ این منطقه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱): اطلاعات پایهٔ منطقه مورد مطالعه

Table (1): Basic information of the study area

پارامتر	واحد	مقدار
طول واحد زراعی	m	۱۰۰۰
عرض واحد زراعی	m	۸۰
هدایت هیدرولیکی اشباع بالای عمق نصب زهکش (k_a)	$m.day^{-1}$	۰/۷۲
هدایت هیدرولیکی اشباع پایین عمق نصب زهکش (k_b)	$m.day^{-1}$	۰/۷۲
ضریب زهکشی از واحد سطح (q)	$mm.day^{-1}$	۲/۵
فاصلهٔ لایهٔ غیرقابل نفوذ تا زیر عمق نصب زهکش (D)	m	۲/۲۵
عمق آب زیرزمینی پیش از اجرای سیستم	m	۱
عمق تثبیت سطح ایستابی (در وسط دو زهکش) از سطح زمین (H)	m	۱/۵

در این مطالعه، به منظور محاسبهٔ هزینهٔ حفاری، از هزینه‌های مربوط به ماشین ترنچر استفاده شده است. برای رعایت ضوابط طراحی، ضخامت مواد پوششی (پوشش شن و ماسه) اطراف لوله زهکش ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. قطر لوله‌های لترال یکی از متغیرهای تصمیم‌گیری این تحقیق است، به این منظور سه قطر متداول موجود در بازار قطرهای قابل انتخاب به مدل معرفی شد. برای کلکتور نیز چهار قطر در نظر گرفته شد. به عبارت دیگر، فضای جواب برای قطر لوله‌های لترال و کلکتور شامل سه و چهار قطر است و از به وجود آمدن قطرهای غیرتجاری که در بازار وجود ندارند جلوگیری شده است. در جدول (۲) قیمت لوله‌ها با قطرهای ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر ارائه شده است. جدول (۳) نیز حاوی اطلاعات مربوط به هزینه‌های اجرایی سیستم‌های زهکشی است.

جدول (۲): قیمت لولهٔ بدون پوشش از قطر ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر

Table (2): Price of uncoated pipe from 100 to 400 mm in diameter

نام محصول	اندازه (mm)	قیمت (ریال)
لولهٔ زهکش PVC بدون پوشش برای لترال	۱۰۰	۳۴۰۰۰
	۱۲۵	۴۰۰۰۰
	۱۶۰	۵۷۰۰۰
لوله زهکش برای کلکتور	۲۰۰	۱۵۰۱۵۰
	۲۵۰	۲۴۰۰۰۰
	۳۱۵	۳۵۹۰۰۰
	۴۰۰	۵۱۴۰۰۰

جدول (۳): هزینه‌های مربوط به اجرای سیستم زهکشی

Table (3): Costs related to the implementation of the drainage system

ردیف	شرح	واحد	بهاء واحد (ریال)
۱۲۰۱۰۱	اجرای زهکش‌های زیرزمینی (زهکش‌های عمقی) با لولهٔ خرطومی یا مشابه تا قطر ۲۰۰ میلی‌متر با ترانشه به عرض ۵۰ سانتی‌متر و عمق ۲ متر با ترنچر.	مترطول	۵۷۶۰۰
۱۲۰۲۰۱	اضافه بها به ازای ردیف ۱۲۰۱۰۱ چنانچه عمق ترانشه بیش از ۲ متر و تا ۳ متر باشد.	متر طول	۱۴۷۰۰
۱۲۰۶۰۱	اضافه بها به ردیف‌های لوله‌گذاری برای آن قسمت از عملیات که در زیر تراز آب زیرزمینی اجرا می‌شود و استفاده از تلمبهٔ موتوری در حین اجرای عملیات برای خارج ساختن آب الزامی باشد.	مترمکعب	۳۸۶۰۰
۱۲۰۶۰۲	اضافه بها به ردیف‌های لوله‌گذاری برای آن قسمت عملیات که در زیر تراز آب زیرزمینی و بدون استفاده از تلمبهٔ موتوری اجرا می‌شود.	مترمکعب	۲۴۶۰۰
۰۴۰۸۰۱	تهیه و حمل مصالح قشر فیلتر دانه‌بندی شده برای مصرف در ترانشه زهکش‌ها یا زیر پوشش کانال‌ها و ابنیهٔ فنی هیدرولیکی.	مترمکعب	۲۴۳۰۰۰
۰۳۱۳۰۳	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، مانند راه‌های سرویس، ارتباطی و انحرافی، در صورتی که فاصلهٔ حمل بیش از ۵۰۰ متر تا ۱۰ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۵۰۰ متر اول (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب-کیلومتر	۲۸۲۰
۰۳۱۳۰۴	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، در صورتی که فاصلهٔ حمل بیش از ۱۰ کیلومتر تا ۳۰ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۱۰ کیلومتر (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب-کیلومتر	۲۳۸۰
۰۳۱۳۰۵	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، در صورتی که فاصلهٔ حمل بیش از ۳۰ کیلومتر تا ۷۵ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۳۰ کیلومتر (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب-کیلومتر	۲۱۷۰
۰۳۱۳۰۶	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، در صورتی که فاصلهٔ حمل بیش از ۷۵ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۷۵ کیلومتر (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب-کیلومتر	۱۴۱۰

هزینهٔ اجرای لترال (C1)

هزینهٔ یک متر لوله (C_{1a}): به منظور محاسبهٔ هزینه یک متر لوله از جدول (۲) استفاده گردید.

هزینهٔ حفاری، نصب لوله و فیلتر و خاک‌ریزی در واحد متر (C_{1b}) با ماشین ترنچر از ردیف ۱۲۰۱۰۱ از جدول (۳) استخراج گردید.

هزینهٔ تهیه و حمل هر مترمکعب فیلتر شنی دانه‌بندی شده (C_{1c}) برای هر مترمکعب مصرفی بر اساس ردیف ۰۴۰۸۰۱ از جدول (۳)، معادل ۲۴۳۰۰۰ ریال بیان شده است. هزینهٔ حمل مواد حاصل از عملیات خاکی (C_{1d}) نیز با توجه به جدول (۳) با شمارهٔ ردیف‌های ۰۳۱۳۰۳ تا ۰۳۱۳۰۶ استفاده گردید. کل مسافت طی شده در این پروژه ۲۰ کیلومتر است و بر این اساس هزینهٔ انتقال مواد خاکی نیز در محاسبات لحاظ شده است.

هزینه‌های مربوط به اضافه بها (C_{1e}): در صورتی که عمق حفر ترانشه بیشتر از ۲ متر تا حداکثر عمق ۳ متر باشد به دلیل سختی اجرای کار مقداری اضافه بها در نظر گرفته می‌شود. قیمت این اضافه بها در ردیف ۱۲۰۲۰۱ از جدول (۳) استخراج گردید. همچنین اگر در هنگام عملیات لوله‌گذاری سطح آب زیرزمینی بالاتر از عمق حفاری باشد

اضافه بهای ذکر شده در ردیف ۱۲۰۶۰۱ و ۱۲۰۶۰۲ به دلیل سختی کار نیز به هزینه‌ها اضافه می‌شود.

هزینهٔ اجرای کلکتور (C2)

روش به دست آوردن هزینه‌های مربوط به کلکتور مشابه روش به دست آوردن هزینه‌های مربوط به لترال است و فقط حجم فیلتر مصرفی و عمق دفن لوله‌های زهکش در کلکتور بیشتر خواهد شد که در مسائل اعمال گردیده است.

هزینهٔ منهول (C3) و هزینهٔ احداث جادهٔ سرویس (C4)

هزینهٔ منهول و جادهٔ سرویس در سال ۱۳۹۷، به منظور به دست آوردن هزینهٔ کل عملیات اجرای سیستم زهکشی در محاسبات وارد گردید. هزینهٔ منهول و جادهٔ سرویس به ترتیب برابر ۱۴۱۰۰ ریال و ۲۹۹۳۰۰۰ ریال در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

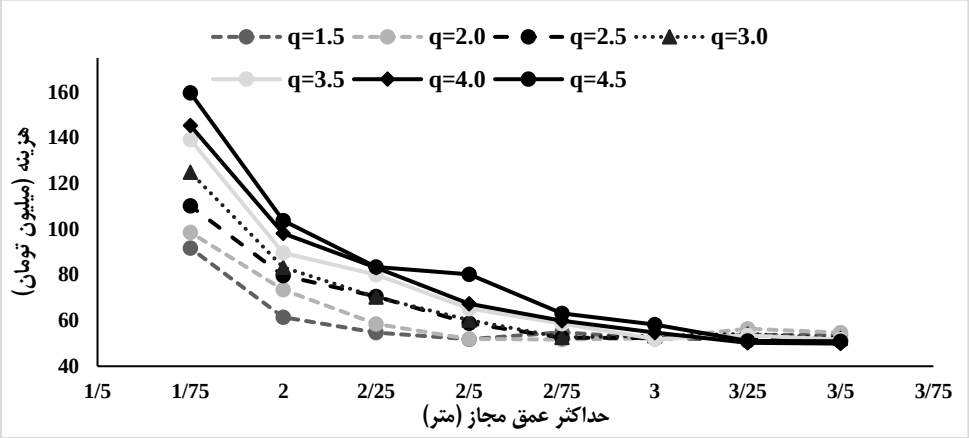
الگوریتم ژنتیک

با اعمال مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک بر داده‌های زمین‌های مورد مطالعه، پارامترهای بهینه محاسبه گردید. جدول (۴)، پارامترهای طراحی به دست آمده از مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک را در ضریب‌های مختلف زهکشی به ازای عمق مجاز نصب زهکش‌ها نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن کل فضای جست‌وجو (عمق مجاز نصب زهکش از ۱/۵ تا ۳/۵ متری از سطح زمین)، نتایج حاصل از اطلاعات ورودی زمین‌های منطقهٔ مورد مطالعه نشان داد که با احتساب ضریب زهکشی ۲/۵ میلی‌متر بر روز حداقل هزینه معادل ۵۱/۳ میلیون تومان در ۸ هکتار در عمق ۲/۶۲ متری از سطح زمین با فاصلهٔ نصب ۷۹/۹ متر و قطر ۱۲۵ میلی‌متر اتفاق افتاده است. به منظور بررسی هزینه‌های اجرا نسبت به ضرایب زهکشی، مدل با احتساب ضریب‌های زهکشی ۱/۵، ۲/۰، ۳/۰، ۳/۵، ۴/۰ و ۴/۵ میلی‌متر بر روز نیز اجرا و خروجی‌ها در جدول (۴) ارائه گردید. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، با کاهش عمق مجاز نصب زهکش‌های زیرزمینی، فاصلهٔ نصب لوله‌های زهکش کاهش می‌یابد و با کاهش فاصله و عمق نصب لوله‌های زهکش، هزینهٔ اجرای زهکش‌های زیرزمینی به دلیل افزایش تعداد زهکش‌ها افزایش می‌یابد. در شکل (۵) نمودار مربوط به هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز برای هر یک از ضریب‌های زهکشی نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، به طور کلی با کاهش حداکثر عمق مجاز، میزان هزینه نیز افزایش پیدا می‌کند. در یک عمق مجاز لوله‌گذاری ثابت با افزایش ضریب زهکشی، افزایش میزان هزینه دیده می‌شود. مثلا با کاهش عمق محاز از۳/۵ به ۱/۷۵ برای ضریب زهکشی۳ میلی متر بر روز هزینه ها از ۶۰ میلیون تومان به ۱۲۰ میلیون تومان افزایش می یابد. این موضوع در عمق‌های مجاز پایین‌تر به صورت معنادار خود را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، با وارد کردن ضریب‌های زهکشی ۱/۵، ۲/۰، ۳/۰، ۳/۵، ۴/۰ و ۴/۵ میلی‌متر بر روز، کمترین هزینه معادل ۴۹/۹ میلیون تومان در ۸ هکتار متعلق به ضریب زهکشی ۴/۰ میلی‌متر بر روز، در عمق ۳/۱۳ متری از سطح زمین با فاصله نصب ۷۹/۸ متر و قطر ۱۰۰ میلی‌متر به دست آمد و دیگر هزینه‌ها در عمق‌های به دست آمده نسبت به حداقل هزینه مقایسه گردید که این مقایسه در شکل (۶) نمایش داده شده است. به طور مثال، در شکل (۶) مشاهده می‌شود که به ازای ضریب زهکشی ۳/۰ میلی‌متر بر روز، عمق ۲/۷۶ متر از نظر هزینه نسبت به هزینهٔ بهینه ضریب زهکشی ۴/۰ میلی‌متر بر روز، ۱/۰۵ درصد افزایش داشته است.

جدول (۴): پارامترهای طراحی سیستم زهکشی- هزینه اجرایی- در ضریب‌های زهکشی متفاوت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Table (4): drainage system design parameters - implementation cost - in different drainage coefficients using genetic algorithm

q=4.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=3.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=3(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=2.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=2(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=1.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			حداکثر عمق مجاز نصب زهکش (m)
عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	عمق بهینه (m)	فاصله زهکش (m)	قطر (mm)	
۳/۲۲	۷۷/۹	۱۲۵	۳/۱۳	۷۹/۸	۱۰۰	۲/۹۵	۷۹/۲	۱۲۵	۲/۷۶	۷۸/۳	۱۲۵	۲/۶۲	۷۹/۹	۱۲۵	۲/۳۳	۷۴/۲	۱۲۵	۲/۱۷	۷۶/۱	۱۲۵	۳/۵۰
۳/۲۱	۷۷/۸	۱۲۵	۳/۱۰	۷۹/۱	۱۲۵	۲/۸۷	۷۶/۴	۱۲۵	۲/۶۸	۷۵/۱	۱۲۵	۲/۶۱	۷۸/۹	۱۰۰	۲/۲۸	۷۱/۵	۱۲۵	۲/۱۷	۷۵/۹	۱۲۵	۳/۲۵
۲/۹۳	۶۸/۳	۱۰۰	۲/۹۶	۷۳/۷	۱۰۰	۲/۹۴	۷۸/۶	۱۰۰	۲/۷۲	۷۶/۷	۱۲۵	۲/۵۹	۷۷/۸	۱۰۰	۲/۴۰	۷۸/۲	۱۲۵	۲/۲۱	۷۸/۶	۱۲۵	۳/۰۰
۲/۷۴	۶۲/۱	۱۰۰	۲/۷۵	۶۶/۳	۱۰۰	۲/۶۵	۶۷/۴	۱۰۰	۲/۷۴	۷۷/۵	۱۲۵	۲/۵۷	۷۷/۷	۱۲۵	۲/۴۲	۷۹/۲	۱۲۵	۲/۱۴	۷۳/۴	۱۰۰	۲/۷۵
۲/۴۷	۵۲/۴	۱۰۰	۲/۵۰	۵۷/۲	۱۰۰	۲/۴۴	۵۹/۰	۱۰۰	۲/۴۸	۶۵/۹	۱۰۰	۲/۳۶	۶۷/۲	۱۰۰	۲/۴۱	۷۸/۸	۱۲۵	۲/۲۲	۷۹/۰	۱۲۵	۲/۵۰
۲/۲۴	۴۴/۰	۱۰۰	۲/۱۸	۴۴/۴	۱۰۰	۲/۱۵	۴۶/۳	۱۰۰	۲/۲۳	۵۴/۴	۱۰۰	۲/۱۱	۵۴/۰	۱۰۰	۲/۲۳	۶۷/۸	۱۰۰	۲/۱۵	۷۳/۷	۱۰۰	۲/۲۵
۱/۹۸	۳۳/۱	۱۰۰	۱/۹۷	۳۵/۱	۱۰۰	۲/۰۰	۳۹/۰	۱۰۰	۲/۰۰	۴۲/۷	۱۰۰	۱/۹۷	۴۵/۴	۱۰۰	۱/۹۵	۴۹/۹	۱۰۰	۱/۹۹	۶۱/۹	۱۰۰	۲/۰۰
۱/۷۳	۲۰/۳	۱۰۰	۱/۷۴	۲۲/۴	۱۰۰	۱/۷۳	۲۳/۷	۱۰۰	۱/۷۴	۲۶/۶	۱۰۰	۱/۷۵	۳۰/۷	۱۰۰	۱/۷۵	۳۴/۸	۱۰۰	۱/۷۲	۳۸/۴	۱۰۰	۱/۷۵



شکل (۵): مقایسه هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز برای هر یک از ضریب‌های زهکشی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Figure (5): Comparison of costs against the maximum allowed depth for each of the drainage coefficients using the genetic algorithm

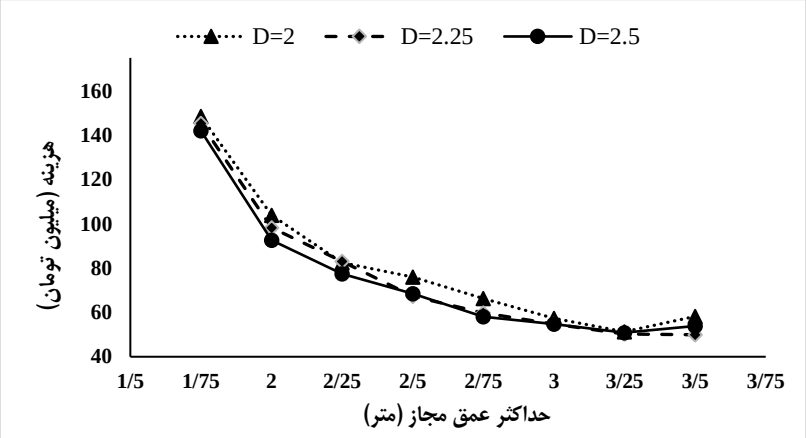
در ادامه، تأثیر فاصلهٔ لایهٔ غیر قابل نفوذ تا زیر عمق نصب زهکش بر پارامترهای طراحی و هزینه‌های اجرایی سیستم‌های زهکشی بررسی شده است. در این بخش تمام اطلاعات ورودی ثابت در نظر گرفته شد و فقط عمق لایهٔ غیر قابل نفوذ که در اطلاعات اولیه ورودی برنامه ۲/۲۵ متر بود به عمق‌های ۲/۰ و ۲/۵ متر تبدیل گردید و به عنوان ورودی مدل بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده در جدول (۵) و شکل (۶) ارائه شده است.

در جدول (۵) و شکل (۶) دیده می‌شود که به طور کلی با افزایش فاصلهٔ لایهٔ غیرقابل نفوذ تا زیر محل نصب زهکش، فاصلهٔ زهکش‌ها افزایش و هزینهٔ اجرای سیستم‌های زهکشی کاهش یافته است. به طور مثال، در فاصلهٔ ۲/۰ متری زهکش از لایهٔ نفوذناپذیر، فاصلهٔ زهکش‌ها در حداکثر عمق مجاز ۲/۰ متر، ۳۳/۱ متر و در فاصله‌های ۲/۲۵ و ۲/۵ متری زهکش از لایه نفوذناپذیر در حداکثر عمق مجاز ۲/۰ متر، به ترتیب ۳۵/۱ و ۳۷/۴ متر حاصل شده است که این امر ناشی از رابطهٔ میان پارامتر D و فاصلهٔ زهکش‌ها در رابطهٔ هوخهات است. با افزایش عمق تثبیت، فاصلهٔ بهینه زهکش‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد زیرا با افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی به دلیل کاهش ارتفاع سفرهٔ آب بین دو خط زهکش، فاصلهٔ زهکش‌ها کاهش خواهد یافت. در شکل (۶) همچنین دیده می‌شود که حداقل هزینه در فاصلهٔ لایهٔ غیرقابل نفوذ تا زیر محل نصب زهکش ۲/۲۵ متر، معادل ۴۹/۹ میلیون تومان در ۸ هکتار است و این میزان هزینه متعلق به حداکثر عمق مجاز ۳/۵ متر با فاصلهٔ زهکش‌های ۷۹/۸ متر است.

جدول (۵): پارامترهای طراحی سیستم زهکشی- هزینهٔ اجرایی- در فاصلهٔ لایهٔ نفوذناپذیر تا زیر عمق نصب زهکش متفاوت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Table (5): drainage system design parameters - implementation cost - in the distance between the impervious layer and below the depth of installation of different drains using genetic algorithm

حداکثر عمق مجاز نصب زهکش (m)	q=4(mm/day), D=2m, H=1.5m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=4(mm/day), D=2.5m, H=1.5m		
	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)
۳/۵۰	۱۰۰	۶۸/۲	۲/۸۷	۱۰۰	۷۹/۸	۳/۱۳	۱۰۰	۷۵/۳	۲/۹۴
۳/۲۵	۱۲۵	۷۷/۳	۳/۱۳	۱۲۵	۷۹/۱	۳/۱۰	۱۲۵	۷۸/۱	۳/۰۰
۳/۰۰	۱۰۰	۶۹/۷	۲/۹۱	۱۰۰	۷۳/۷	۲/۹۶	۱۰۰	۷۳/۶	۲/۸۹
۲/۷۵	۱۲۵	۵۹/۴	۲/۶۰	۱۰۰	۶۶/۳	۲/۷۵	۱۰۰	۶۸/۶	۲/۷۵
۲/۵۰	۱۰۰	۴۹/۸	۲/۳۶	۱۰۰	۵۷/۲	۲/۵۰	۱۰۰	۵۵/۷	۲/۴۱
۲/۲۵	۱۰۰	۴۵/۱	۲/۲۳	۱۰۰	۴۴/۴	۲/۱۸	۱۰۰	۴۸/۰	۲/۲۳
۲/۰۰	۱۰۰	۳۳/۱	۱/۹۶	۱۰۰	۳۵/۱	۱/۹۷	۱۰۰	۳۷/۴	۲/۰۰
۱/۷۵	۱۰۰	۲۱/۸	۱/۷۴	۱۰۰	۲۲/۴	۱/۷۴	۱۰۰	۲۳/۲	۱/۷۴



شکل (۶): مقایسهٔ هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز برای هر یک از فاصله‌های لایهٔ نفوذناپذیر تا زیر عمق نصب زهکش با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Figure (6): Comparison of costs against the maximum allowed depth for each of the impervious layer distances to below the depth of the drain installation using the genetic algorithm.

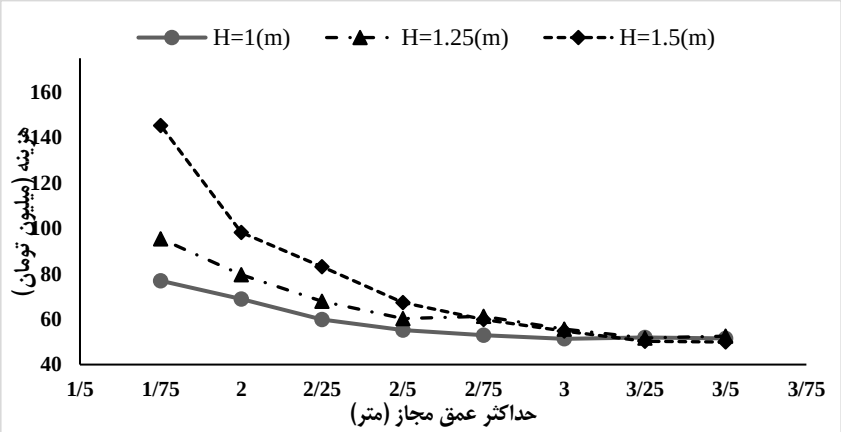
در ادامه، تغییرات عمق سطح ایستابی بر پارامترهای طراحی و هزینه‌های اجرایی سیستم‌های زهکشی بررسی شده است. جدول (۶) و شکل (۷) تأثیر عمق تثبیت سطح ایستابی را بر پارامترهای بهینه طراحی نشان می دهد. با افزایش عمق تثبیت، فاصلهٔ بین زهکش‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد، زیرا باید ارتفاع سفره آب زیرزمینی بین دو خط زهکش کاهش یابد. از این رو انتظار می‌رود با افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی، هزینهٔ اجرای طرح نیز افزایش

یابد. زادش پرگو و همکاران (Zadesh Pargo *et al*, 2015) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی، اختلاف با حداقل هزینه افزایش می‌یابد. اما در این تحقیق نتایج نشان داد که افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی نه تنها افزایشی در میزان هزینه‌ها ندارد بلکه شاهد کاهش هزینه‌ها نیز هستیم. دلیل اصلی این اتفاق را می‌توان در نتایج جدول (۶) جست‌وجو کرد. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، الگوریتم بهینه سازی در حداکثر عمق‌های مجاز نصب زهکش (m= ۲/۷۵ تا m=3/۵)، قطر بهینه ۱۲۵ میلی متر را برای عمق‌های تثبیت سطح ایستابی (H=1m و H=1.25m)، و قطر ۱۰۰ میلی متر را برای (H=1.5m) انتخاب کرده است.

جدول (۶): پارامترهای طراحی سیستم زهکشی- هزینه اجرایی- در سطح ایستابی متفاوت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Table (6): drainage system design parameters - implementation cost - at different level of stability using genetic algorithm

حداکثر عمق مجاز نصب زهکش (m)	q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.0m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.25m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.5m		
	قطر (mm)	فاصله زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصله زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصله زهکش (m)	عمق بهینه (m)
۳/۵۰	۱۲۵	۷۹/۵	۲/۶۲	۱۲۵	۷۷/۷	۲/۸۱	۱۰۰	۷۹/۸	۳/۵۰
۳/۲۵	۱۲۵	۷۸/۷	۲/۵۹	۱۲۵	۷۹/۱	۲/۸۵	۱۲۵	۷۹/۱	۳/۲۵
۳/۰۰	۱۲۵	۷۹/۸	۲/۶۲	۱۰۰	۷۲/۰	۲/۶۶	۱۰۰	۷۳/۷	۳/۰۰
۲/۷۵	۱۲۵	۷۶/۹	۲/۵۴	۱۲۵	۶۵/۵	۲/۴۶	۱۰۰	۶۶/۳	۲/۷۵
۲/۵۰	۱۰۰	۷۲/۸	۲/۴۳	۱۰۰	۶۵/۶	۲/۴۷	۱۰۰	۵۷/۲	۲/۵۰
۲/۲۵	۱۰۰	۶۶/۵	۲/۲۵	۱۰۰	۵۶/۴	۲/۲۳	۱۰۰	۴۴/۴	۲/۲۵
۲/۰۰	۱۰۰	۵۳/۴	۱/۹۰	۱۰۰	۴۵/۴	۱/۹۵	۱۰۰	۳۵/۱	۲/۰۰
۱/۷۵	۱۰۰	۴۷/۱	۱/۷۴	۱۰۰	۳۶/۲	۱/۷۵	۱۰۰	۲۲/۴	۱/۷۵



شکل (۷): مقایسهٔ هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز در سطح ایستابی متفاوت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

Figure (7): Comparison of costs against the maximum allowed depth at different water levels using genetic algorithm

نتایج الگوریتم چندجهانی

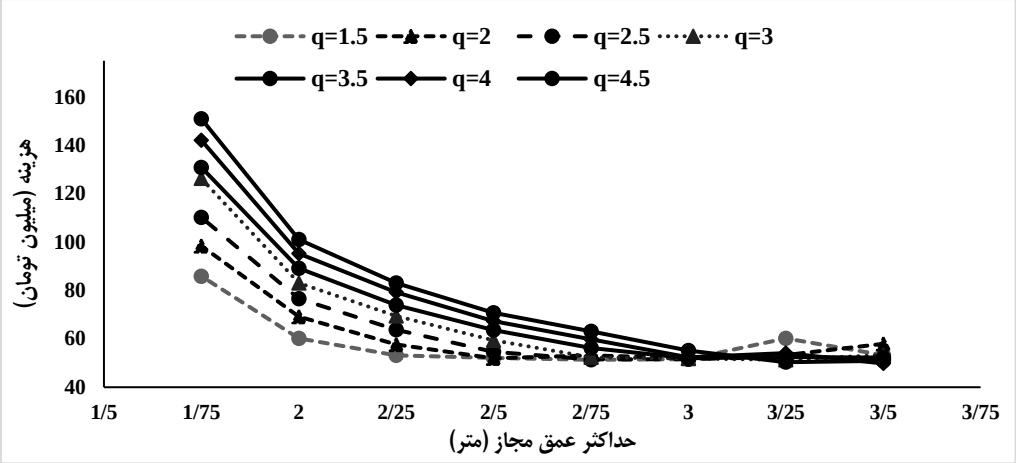
پارامترهای بهینه با اعمال مدل بهینه‌سازی الگوریتم چندجهانی محاسبه گردید. جدول (۷) پارامترهای طراحی به دست آمده از مدل بهینه‌سازی را در ضریب‌های مختلف زهکشی به ازای عمق مجاز نصب زهکش‌ها نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن کل فضای جست‌وجو (عمق مجاز نصب

زهکش از ۱/۵ تا ۳/۵ متری از سطح زمین)، نتایج حاصل از اطلاعات ورودی زمین‌های علی آباد نشان داد که با احتساب ضریب زهکشی (شدت تخلیه) ۲/۵ میلی‌متر بر روز حداقل هزینه معادل ۵۱/۵ میلیون تومان در یک واحد ۸ هکتاری در عمق ۲/۶۱ متری از سطح زمین با فاصلهٔ نصب ۷۹/۵ متر و قطر ۱۲۵ میلی‌متر اتفاق افتاده است. به منظور بررسی هزینه‌های اجرا در ضریب‌های زهکشی مختلف، مدل با احتساب ضریب‌های زهکشی ۱/۵، ۲/۰، ۳/۰، ۳/۵، ۴/۰ و ۴/۵ میلی‌متر بر روز نیز اجرا شد و خروجی‌ها در جدول (۷) ارائه گردید. همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود با کاهش عمق مجاز نصب زهکش‌های زیرزمینی، فاصله نصب لوله‌های زهکش کاهش می‌یابد و با کاهش فاصله و عمق نصب لوله‌های زهکش، هزینه اجرای زهکش‌های زیرزمینی افزایش پیدا می‌کند. در شکل (۸) نمودار مربوط به هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز برای هر یک از ضریب‌های زهکشی نشان داده شده است. در این شکل دیده می‌شود که به طور کلی با کاهش حداکثر عمق مجاز، میزان هزینه نیز افزایش پیدا می‌کند. در یک عمق مجاز لوله‌گذاری ثابت نیز با افزایش ضریب زهکشی، افزایش میزان هزینه دیده می‌شود. این موضوع در عمق‌های مجاز پایین‌تر به صورت معنادار خود را نشان می‌دهد. به طور کلی، با وارد کردن ضریب‌های زهکشی ۱/۵، ۲/۰، ۳/۰، ۳/۵، ۴/۰ و ۴/۵ میلی‌متر بر روز، کمترین هزینه معادل ۴۹/۸ میلیون تومان در یک واحد ۸ هکتاری متعلق به ضریب زهکشی ۴/۰ میلی‌متر بر روز، در عمق ۳/۱۳ متری از سطح زمین با فاصله نصب ۸۰ متر و قطر ۱۲۵ میلی‌متر به دست آمده است.

جدول (۷): پارامترهای طراحی سیستم زهکشی- هزینه اجرایی- در ضریب‌های زهکشی متفاوت (الگوریتم چندجهانی)

Table (7): drainage system design parameters - implementation cost - in different drainage coefficients (multi-universe algorithm)

q=4.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=3.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=3(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=2.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=2(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=1.5(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			حداکثر عمق مجاز نصب زهکش
عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	عمق بهینه	فاصله زهکش	قطر (mm)	
۳/۲۲	۷۷/۹	۱۲۵	۳/۱۳	۸۰/۰	۱۲۵	۲/۹۲	۷۷/۹	۱۰۰	۲/۷۲	۷۶/۶	۱۲۵	۲/۶	۷۹/۰	۱۲۵	۲/۲۵	۶۹/۸	۱۲۵	۲/۱۷	۷۵/۶	۱۰۰	۳/۵۰
۳/۲۵	۷۹/۰	۱۲۵	۲/۹۹	۷۵/۰	۱۰۰	۲/۹۱	۷۷/۵	۱۰۰	۲/۸۰	۷۹/۸	۱۲۵	۲/۵۷	۷۷/۶	۱۲۵	۲/۳۷	۷۶/۷	۱۲۵	۲/۱۹	۷۷/۱	۱۲۵	۳/۲۵
۳/۰	۷۰/۶	۱۰۰	۳/۰	۷۵/۲	۱۰۰	۲/۹۳	۷۸/۷	۱۲۵	۲/۷۹	۷۹/۱	۱۰۰	۲/۶۲	۷۹/۳	۱۰۰	۲/۴۱	۷۸/۷	۱۲۵	۲/۲۲	۷۹/۴	۱۲۵	۳/۰۰
۲/۷۵	۶۲/۴	۱۰۰	۲/۷۵	۶۶/۵	۱۰۰	۲/۷۵	۷۱/۸	۱۲۵	۲/۷۵	۷۸/۰	۱۲۵	۲/۶۱	۷۹/۵	۱۲۵	۲/۳۸	۷۶/۵	۱۰۰	۲/۲۲	۷۹/۸	۱۲۵	۲/۷۵
۲/۵۰	۵۳/۷	۱۰۰	۲/۵۰	۵۷/۲	۱۰۰	۲/۵۰	۶۱/۵	۱۰۰	۲/۵۰	۶۷/۴	۱۲۵	۲/۵۰	۷۳/۸	۱۰۰	۲/۴۱	۷۸/۷	۱۲۵	۲/۲۱	۷۸/۶	۱۲۵	۲/۵۰
۲/۲۵	۴۴/۴	۱۰۰	۲/۲۵	۴۷/۴	۱۰۰	۲/۲۵	۵۰/۹	۱۰۰	۲/۲۵	۵۵/۵	۱۰۰	۲/۲۵	۶۱/۳	۱۰۰	۲/۲۵	۶۹/۲	۱۰۰	۲/۱۹	۷۶/۷	۱۰۰	۲/۲۵
۲/۰۰	۳۴/۰	۱۰۰	۲/۰۰	۳۶/۴	۱۰۰	۲/۰۰	۳۹/۴	۱۰۰	۲/۰۰	۴۲/۹	۱۰۰	۲/۰۰	۴۷/۵	۱۰۰	۱/۹۹	۵۳/۰	۱۰۰	۲/۰۰	۶۲/۹	۱۰۰	۲/۰۰
۱/۷۵	۲۱/۶	۱۰۰	۱/۷۵	۲۳/۱	۱۰۰	۱/۷۵	۲۵/۱	۱۰۰	۱/۷۵	۳۰/۰	۱۰۰	۱/۷۵	۳۰/۶	۱۰۰	۱/۷۵	۳۴/۹	۱۰۰	۱/۷۵	۴۱/۳	۱۰۰	۱/۷۵



شکل (۸): مقایسهٔ هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز برای هر یک از ضریب‌های زهکشی (الگوریتم چندجهانی)

Figure (8): Comparison of costs against the maximum allowed depth for each of the drainage coefficients (multi-world algorithm)

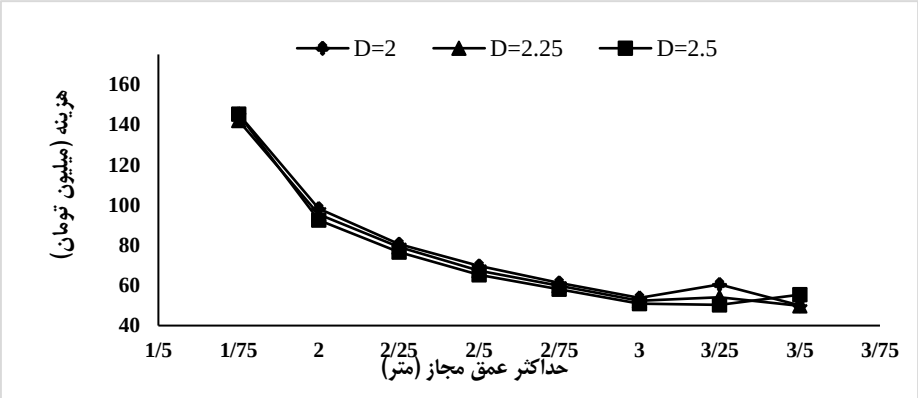
با در نظر گرفتن مقادیر اولیهٔ ۱/۵، ۲/۲۵ و ۲/۵ به ترتیب برای پارامترهای H، D و q ، مقادیر هزینهٔ طرح با افزایش عمق مجاز نصب زهکش کاهش می‌یابد. این مقادیر برای ۱/۷۵، ۲، ۲/۲۵، ۲/۵، ۲/۷۵، ۳، ۳/۲۵ و ۳/۵ متر به ترتیب برابر با ۱۱۰/۲، ۷۶/۶، ۶۳/۷، ۵۴/۷، ۵۱/۵، ۵۱/۶، ۵۲/۶ و ۵۱/۸ میلیون تومان است.در اینجا تأثیر فاصلهٔ لایه غیر قابل نفوذ تا زیر عمق نصب زهکش بر پارامترهای طراحی و هزینه‌های اجرایی سیستم‌های زهکشی بررسی می‌شود. در این بخش تمام اطلاعات ورودی ثابت در نظر گرفته شده است و فقط عمق لایهٔ غیر قابل نفوذ که در اطلاعات اولیه ورودی برنامه ۲/۲۵ متر بود به عمق‌های ۲/۰ و ۲/۵ متر تبدیل و به عنوان ورودی مدل بهینه‌سازی الگوریتم چندجهانی در نظر گرفته شده است. نتایج به دست آمده در جدول (۸) و شکل (۹) ارائه گردیده است.

در جدول (۸) و شکل (۹) دیده می‌شود که به طور کلی با افزایش فاصلهٔ لایه غیرقابل نفوذ تا زیر محل نصب زهکش، فاصلهٔ زهکش‌ها افزایش و هزینهٔ اجرای سیستم‌های زهکشی کاهش یافته است. به طور مثال، در فاصلهٔ ۲/۰ متری زهکش از لایه نفوذناپذیر، فاصلهٔ زهکش‌ها در حداکثر عمق مجاز ۲/۰ متر، ۳۵/۱ متر و در فواصل ۲/۲۵ و ۲/۵ متری زهکش از لایهٔ نفوذناپذیر در حداکثر عمق مجاز ۲/۰ متر، به ترتیب ۳۶/۴ و ۳۷/۵ متر حاصل شده است که این امر ناشی از رابطهٔ میان پارامتر D و فاصلهٔ زهکش‌ها در رابطهٔ هوخهات است. در شکل (۹) همچنین دیده می‌شود که حداقل هزینه در فاصلهٔ لایهٔ غیرقابل نفوذ تا زیر محل نصب زهکش ۲/۲۵ متر رخ داده است که معادل ۴۹/۸ میلیون تومان در یک واحد ۸ هکتاری است و این میزان هزینه متعلق به حداکثر عمق مجاز ۳/۵ متر با فاصلهٔ زهکش‌های ۸۰/۰ متر است.

جدول (۸): پارامترهای سیستم زهکشی- هزینه اجرایی- در فاصلهٔ لایهٔ نفوذناپذیر تا زیر عمق نصب زهکش متفاوت (الگوریتم چندجهانی)

Table (8): drainage system parameters - implementation cost - in the distance between the impervious layer and the depth of installation of different drains (multi-world algorithm)

حداکثر عمق مجاز نصب زهکش (m)	q=4(mm/day), D=2m, H=1.5m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.5m			q=4(mm/day), D=2.5m, H=1.5m		
	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)
۳/۵۰	۱۲۵	۷۹/۶	۳/۲۰	۱۲۵	۸۰/۰	۳/۱۳	۱۰۰	۷۲/۶	۲/۸۶
۳/۲۵	۱۰۰	۶۵/۳	۲/۷۸	۱۰۰	۷۵/۰	۲/۹۹	۱۲۵	۷۹/۱	۳/۰۳
۳/۰۰	۱۰۰	۷۲/۷	۳/۰۰	۱۰۰	۷۵/۲	۳/۰	۱۲۵	۷۸/۰	۳/۰۰
۲/۷۵	۱۰۰	۶۴/۲	۲/۷۵	۱۰۰	۶۶/۵	۲/۷۵	۱۰۰	۶۸/۶	۲/۷۵
۲/۵۰	۱۰۰	۵۵/۲	۲/۵۰	۱۰۰	۵۷/۲	۲/۵۰	۱۰۰	۵۹/۰	۲/۵۰
۲/۲۵	۱۰۰	۴۵/۷	۲/۲۵	۱۰۰	۴۷/۴	۲/۲۵	۱۰۰	۴۹/۰	۲/۲۵
۲/۰۰	۱۰۰	۳۵/۱	۲/۰۰	۱۰۰	۳۶/۴	۲/۰۰	۱۰۰	۳۷/۵	۲/۰۰
۱/۷۵	۱۰۰	۲۲/۴	۱/۷۵	۱۰۰	۲۳/۱	۱/۷۵	۱۲۵	۲۴/۳	۱/۷۵



شکل (۹): مقایسهٔ هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز برای هر یک از فاصله‌های لایهٔ نفوذناپذیر تا زیر عمق نصب زهکش (الگوریتم چندجهانی)

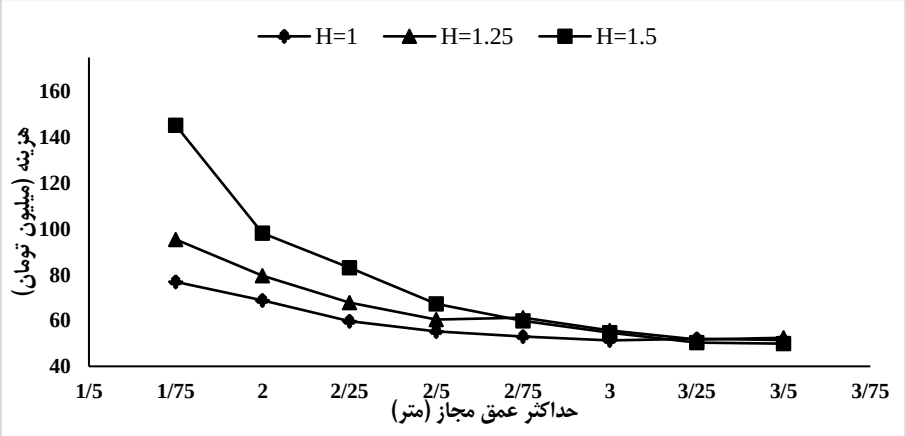
Figure (9): Comparison of costs against the maximum allowed depth for each of the impervious layer distances to below the depth of the drain installation (multi-world algorithm)

در اینجا تغییرات عمق سطح ایستابی بر پارامترهای طراحی و هزینه‌های اجرایی سیستم‌های زهکشی بررسی شده است. جدول (۹) و شکل (۱۰) تأثیر عمق تثبیت سطح ایستابی را بر پارامترهای بهینهٔ طراحی بیان می‌کند. با افزایش عمق تثبیت، فاصلهٔ بین زهکش‌های زیرزمینی کاهش می‌یابد، زیرا باید ارتفاع سفرهٔ آب زیرزمینی بین دو خط زهکش کاهش یابد. از این رو انتظار می‌رود با افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی، هزینهٔ اجرای طرح نیز افزایش یابد. مازندرانی‌زاده و همکاران(Mazandaranizadeh *et al*, 2019) در تحقیقی به این نتیجه رسیدند که با افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی، اختلاف با حداقل هزینه افزایش می‌یابد. این تحقیق نیز نشان داد که در حداکثر عمق مجاز نصب زهکش ۱/۷۵ تا ۲/۷۵ متر با افزایش عمق تثبیت سطح ایستابی، هزینهٔ اجرای طرح نیز افزایش می‌یابد.

جدول (۹): پارامترهای طراحی سیستم زهکشی- هزینه اجرایی- در سطح ایستابی متفاوت (الگوریتم چندجهانی)

Table (9): Drainage system design parameters - implementation cost - at different water level (multi-universe algorithm)

حداکثر عمق مجاز نصب زهکش (m)	q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.0m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.25m			q=4(mm/day), D=2.25m, H=1.5m		
	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)	قطر (mm)	فاصلهٔ زهکش (m)	عمق بهینه (m)
۳/۵۰	۱۲۵	۷۹/۶	۲/۶۲	۱۲۵	۷۹/۴	۲/۸۶	۱۲۵	۸۰/۰	۳/۱۳
۳/۲۵	۱۲۵	۷۸/۴	۲/۵۸	۱۰۰	۷۹/۷	۲/۸۸	۱۰۰	۷۵/۰	۲/۹۹
۳/۰۰	۱۰۰	۷۹/۹	۲/۶۴	۱۲۵	۷۷/۱	۲/۷۹	۱۰۰	۷۵/۲	۳/۰
۲/۷۵	۱۰۰	۷۹/۷	۲/۶۳	۱۰۰	۷۵/۲	۲/۷۵	۱۰۰	۶۶/۵	۲/۷۵
۲/۵۰	۱۰۰	۷۵/۲	۲/۵۰	۱۰۰	۶۶/۵	۲/۵۰	۱۰۰	۵۷/۲	۲/۵۰
۲/۲۵	۱۰۰	۶۶/۵	۲/۲۵	۱۰۰	۵۷/۲	۲/۲۵	۱۰۰	۴۷/۴	۲/۲۵
۲/۰۰	۱۲۵	۵۷/۶	۲/۰۰	۱۲۵	۴۷/۴	۲/۰۰	۱۰۰	۳۶/۴	۲/۰۰
۱/۷۵	۱۰۰	۴۷/۴	۱/۷۵	۱۰۰	۳۶/۴	۱/۷۵	۱۰۰	۲۳/۱	۱/۷۵



شکل (۱۰): مقایسهٔ هزینه‌ها در مقابل حداکثر عمق مجاز در سطح ایستابی متفاوت (الگوریتم چندجهانی)

Figure (10): Comparison of costs against the maximum allowed depth at different water level (multi-world algorithm)

مقایسهٔ نتایج الگوریتم‌های ژنتیک و چندجهانی

مقایسهٔ عملکرد الگوریتم‌های ژنتیک و چندجهانی نشان از کارایی بالای هر دو الگوریتم در حل مسئلهٔ بهینه‌سازی قطر لوله‌های زهکش و عمق نصب آنها دارد. هر دو الگوریتم عملکرد تقریبا یکسانی در حل این مسئلهٔ بهینه‌سازی داشته‌اند؛ به طوری که هر دو الگوریتم در فاصلهٔ لایهٔ غیرقابل نفوذ تا زیر عمق نصب زهکش (D) برابر با ۲/۲۵ متر، عمق تثبیت سطح ایستابی (در وسط دو زهکش) از سطح زمین (H) برابر با ۱/۵ متر و شدت تخلیه یا زهکشی از واحد سطح (q) برابر با ۴ میلی‌متر بر روز مقدار عمق بهینهٔ نصب زهکش را ۳/۱۳ متر محاسبه کرده‌اند. الگوریتم ژنتیک با یافتن فاصله بین زهکش‌ها به میزان ۷۹/۸ متر و الگوریتم چندجهانی با مقدار ۸۰ متر هزینه را به ترتیب ۴۹/۹۲۷ میلیون تومان و ۴۹/۸۲۵ میلیون تومان محاسبه کرده‌اند. نتاج این تحقیق با نتایج تحقیق زادش پرگو (Zadesh Pargo *et al*, 2015) مطابقت دارد که به منظور دستیابی به کمترین هزینهٔ اجرایی درزمین‌های کشت و صنعت سلمان فارسی به بهینه سازی سیستم زهکش زیرزمینی با الگوریتم ژنتیک پرداختند.

نتیجه‌گیری

برای انتخاب بهترین ترکیب از سه پارامتر طراحی سیستم‌های زهکشی (یعنی عمق، قطر و فاصله بین زهکش‌ها) رویکردهای گوناگونی را می‌توان به کار گرفت. یکی از این رویکردها می‌تواند کاهش هزینه‌های اجرای سیستم زهکش باشد. در این تحقیق، با استفاده از الگوریتم ژنتیک، این پارامترها به گونه‌ای انتخاب شدند که منجر به کمترین هزینهٔ اجرایی سیستم زهکشی شوند. در این راستا، با تلفیق رابطهٔ ماندگار هوخهات و الگوریتم ژنتیک و الگوریتم جندجهانی، پارامترهای طراحی انتخاب گردیدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد محاسبهٔ دقیق مؤلفه‌های اثرگذار طراحی مانند شدت زهکشی، عمق لایهٔ غیرقابل نفوذ و عمق تثبیت سطح ایستابی تأثیر زیادی بر پارامترهای طراحی و در نهایت بر هزینه‌های اجرای طرح خواهد داشت. به نحوی که محاسبهٔ غیرواقعی مؤلفه‌ها می‌تواند باعث بروز مقادیر بالای اضافه‌هزینه شود.

تشکر و قدردانی

نویسنده مسئول مقاله از سازمان جهادکشاورزی گرگان سپاسگزاری می‌کند که این پژوهش با حمایت مالی این سازمان به انجام رسیده است .

منابع

Akbari Mazdi, R.A. & Lotfalian, M. & Ghanbarpour, M.R. 2009. Determination of Culverts Diameter in Forest Roads. *Journal of Wood & Forest Science and Technology, 16(1),* 89-103.

Aslani, F., Nazemi, A., Sadreddini, A., Fakherifard, A., and Ghorbani, M. A. 2010. Underground drainage depth and distance estimates based on drainage water quality. *Journal of Soil and Water Research, 41,* 139-146.

Bakour, A., Zhang, Z., Zheng, C., A ALsakran, M., & Bakir, M. 2021. The Study of Subsurface Land Drainage Optimal Design Model. *Mathematical Problems in Engineering*, *2021*.

Bhagu, R. Ch and P. V. Ghanshyam .2010. Optimal Spacing in an Array of Fully Penetrating Ditches for Subsurface Drainage, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering, (ASCE), 136(1),* 63-67.

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.

Christen, E. W. and Skehan, D. 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt load. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 127(3):148-155.

Iqbal, M. & Lnarnullah, A, & Ahrnarf, M. 2007. Optimal design of a subsurface pipe drainage system, Pak. *Journal of Agricultural Science, 44(1),* 159-163.

Mazandarani Zadeh, H., Zadesh Pargo, R., & Daneshkar Arasteh, P. 2019. Optimization of Drainage Design Parameters with the Aim of Reducing Environmental Damage in Steady-State Conditions. *Journal of Environmental Science and Technology*, *21*(6), 155-165.

Mazandarani Zadeh, H. 2016. Drainage System Design by Multi-Objective Algorithm NSGA-II with Economic and Environmental Approach. *Iran-Water Resources Research*, *12*(3), 142-152.

Mohammadrezapour, O., Shui, L. T., & Dehghani, A. A. 2011. Genetic algorithm model for the relation between flow discharge and suspended sediment load (Gorgan River in Iran). Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 16, 539-553.

Razi, F. & Sotoodehnia, A. &, Daneshkar Arasteh, P. & Akram, M. 2012. A Laboratory Test on the Effect of Drain Installation Depth on Drain Water Salinity (from a Clay-Loam Soil Profile). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *43(3),* 281-288.

Soleimani Nanadegani, M. & Parsi Nejad, M. & Nori, H. 2010. *Estimating the costs of installing underground pipe drains. The Third National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks. Fev 20.* Ahvaz, Khozestan, Iran.

Valipour, M. 2012. Effect of drainage parameters. change on amount of drain discharge in subsurface drainage systems. *Journal of agriculture and veterinary science*, *1*, 10-18.

Zadesh Pargo, R. & Mazandarani Zadeh, H. & Daneshkar Araste, P. (2016). Subsurface Drainage System Design to Minimize Construction Costs under Steady-State Conditions. *Journal of Water Research in Agriculture*, *29(1),* 117-128.

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.24/No.92/Autumn 2024/P: 1-22

Original Research

Optimization of underground drainage system design parameters using multiverse algorithm in sustainable conditions

Omolbani Mohammadrezapour* , Meysam Salarijazi

*** Corresponding Author:** Associate Professor, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resource
Received:10 December 2023, **Accepted:** 17 February 2024
Email: mohammadrezapour@gau.ac.ir
https://doi.org/10.22092/IDSER.2024.364354.1568

Extended Abstract

Introduction

In the design of underground drainage systems, the depth, diameter and distance of the drains are important decision making variables. Depending on the type of target, different combinations of them can be used. In the usual drainage designs, the design variables of the depth and diameter of the drain are determined by using experience and the conditions and facilities of material preparation, and the distance of the drains, after determining the drainage coefficient and water balance, is determined by using the Hooghoudt equation. Since design variables are intrinsically interdependent, methods can be used to determine the best combination of variables that leads to minimum implementation costs. The aim of this research is to optimize the design parameters of underground drainage systems with an economic approach. Optimization is finding the best solution in order to minimize or maximize one or more objectives by observing the constraints of the problem. The present study was conducted based on the current economic situation and observations of the country and on the basis of the actual executive figures of Iran in 201۸. In this research, genetic and multiverse algorithm optimization model was used to optimize the main design parameters of the underground drainage system of regional agricultural lands around Gorgan city.

Methodology

In this research, Genetic and multiverse algorithm optimization model was used to optimize the main design parameters of the underground drainage system of regional agricultural lands around Gorgan city. The area of the construction area of the drainage system was around 200 hectares. These areas were divided into 25 plots of 8 hectares and project costs were calculated for each. Using genetic and multi-world algorithm, the design parameters were selected in such a way as to lead to the lowest implementation cost of the underground drainage system. In this regard, the design parameters were selected by combining Hooghoudt equation and optimization algorithms.

Results and Discussion

By applying the genetic algorithm optimization model to the data of the studied lands, the optimal parameters were calculated. Considering the entire search area (permissible depth of

drainage installation from 1.5 to 3.5 meters from the ground surface), the results showed that, by entering the drainage coefficients of 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 and 4.5 mm per day the lowest cost of 49.9 million Tomans was obtained in 8 hectares with a drainage coefficient of 4 mm per day, at a depth of 3.13 meters from the ground surface with an installation distance of 79.8 meters and a diameter of 100 mm. Also, the optimal parameters were calculated by applying the multiverse algorithm optimization model. The results obtained from Aliabad land input data showed that by entering the drainage coefficients of 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 and 4.5 mm per day, the lowest cost is equivalent to 49.8 million tomans in an 8-hectare unit with a drainage coefficient of 4 mm per day was obtained at a depth of 3.13 meters from the ground surface with an installation distance of 80 meters and a diameter of 125 mm.

The best design parameters using the genetic algorithm according to the implementation criteria of the drains including diameter, the distance of the drains, the optimal depth and also the costs for an 8-hectare plot including 100 mm, 54 m, 2.11 m and 70.604 million Tomans have been obtained. In the multiverse algorithm, these values are 100 mm, 61.3 meters, 2.25 meters and 63.709 million Tomans, respectively. Also, the cost of the project decreases with the increase of the allowed depth of the drain installation, the lowest and highest costs obtained in the genetic algorithm for the maximum allowed installation depth of 1.75 and 3.5 meters are equal to 110.226 and 51.814 million Tomans, respectively. In the multi-world algorithm, it was obtained as 110.223 and 51.782 million tomans, respectively.

Conclusions

In this research, the optimization model of genetic and multiverse algorithm for lands around Gorgan city was used. The construction area of the drainage system was about 200 hectares. These areas were divided into small plots of 8 hectares and the design costs for that small unit were calculated. Therefore, 25 units of 8 hectares have been considered for the study area. In this study, using genetic and multi-verse algorithms, these parameters were selected in such a way as to lead to the lowest operating costs of the underground drainage system. Results showed the best design parameters using the genetic algorithm according to the implementation criteria of the drains including diameter, the distance of the drains, the optimal depth and also the costs for an 8-hectare plot including 100 mm, 54 m, 2.11 m and 70.604 million Tomans have been obtained. In the multiverse algorithm, these values are 100 mm, 61.3 meters, 2.25 meters and 63.709 million Tomans, respectively.

Acknowledgement

The responsible author of the article is grateful to the Jihad Keshavarzi Organization of Gorgan, this research was carried out with the financial support of this organization.

Keywords: Design parameters, optimization, drainage system, implementation cost.

©2020 Food Engineering Research, Karaj, Iran. This is an open access artcle distributed under the terme and conditions of the Creative Commons attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)