

Calculation of Drainage Design Parameters Using AMOSA Multi-Objective Optimization and Conflict Resolution Models

FAEZE HAJI RAJABI¹, HAMED MAZNDARANI ZADEH^{2*}

1. M. S. Graduated of Water Engineering, Faculty of Science Engineering, IKIU, Qazvin, Iran

2. Assistant Professor, Department of Science and Water Engineering, Faculty of Science Engineering, IKIU, Qazvin, Iran

(Received: Jan. 11, 2017- Revised: May. 19, 2018- Accepted: May. 20, 2018)

ABSTRACT

If the soil does not have natural drainage for removal of excess of water, irrigation would lead to waterlogging and stopping the growth or even damaging the crop root. Controlling water table level is one of the subsurface drainage goals to properly ventilate the plants root zone. High construction cost and negative environmental impacts, resulting from the effluent disposal are the main problems of drainage projects. Since, reducing the environmental affects leads to increasing construction cost, the aim of this study was to develop a model for determination of drainage design parameters, including diameter, depth and drainage distance, in a way that construction costs and environmental affects would be minimized. In this study, the multi-objective optimization algorithm AMOSA, a simulated annealing (SA) algorithm, has been used. Since the multi-objective optimization models output is consisted of several optimal points, conflict resolution models such as Kalai-Smorodinsky, Area Monotonic and Nash were employed to select a final competent result among the optimal points. The proposed model was run for the Salman Farsi agro-industry data, one of the Sugarcane Development Company projects. Results showed that the optimal depths were between 1.2m to 1.8m. The final favorable results were 1.25-1.65m for installation depth, 0.1m for pipe diameter and 30-50m for pipe spacing depending on the taken conflict resolution method.

Keywords: Area Monotonic, Construction Cost, Kalai-Smorodinsky, Nash, Salinity, Simulation algorithm,

محاسبه پارامترهای طراحی زهکش با استفاده از مدل بهینه‌سازی چندهدفه AMOSA و مدل‌های رفع اختلاف

فائزه حاجی‌رجبی^۱، حامد مازندرانی‌زاده^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین،

قزوین، ایران

۲. استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، قزوین، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۲ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۲۹ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۲/۳۰)

چکیده

در صورتی که خاک اراضی دارای تمهیدات لازم برای خروج آب اضافی نباشد، آبیاری سبب ماندابی شدن خاک و توقف رشد و یا حتی از بین رفتن ریشه گیاهان می‌گردد. یکی از اهداف زهکشی زیرزمینی، کنترل سطح آب زیرزمینی با هدف ایجاد تهویه مناسب در محیط ریشه گیاهان است. از مسائل و مشکلات اصلی طرح‌های زهکشی می‌توان به هزینه نسبتاً بالای اجرای این طرح‌ها و اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از دفع زه‌آب اشاره کرد. از آنجاکه کاهش عوارض زیست‌محیطی منجر به افزایش هزینه‌های احداث خواهد شد، هدف از انجام این مطالعه ارائه مدلی به منظور تعیین پارامترهای طراحی زهکش، شامل قطر، عمق و فاصله نصب لوله‌ها است به گونه‌ای که هزینه‌های احداث و عوارض زیست‌محیطی حداقل گردد. در این مطالعه از الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه AMOSA که الگوریتمی بر پایه الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت فلزات (SA) است استفاده شده است. از آنجاکه خروجی مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه دربرگیرنده چندین جواب بهینه است لذا به منظور انتخاب یک جواب مطلوب نهایی از میان جواب‌های به دست آمده، مدل‌های رفع اختلاف Kalai-Smorodinsky، Area Monotonic و Nash مورد استفاده قرار گرفت. مدل پیشنهادی بر روی اطلاعات شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی یکی از طرح‌های هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر به کار گرفته شد. نتایج نشان می‌دهد اغلب جواب‌های مربوط به عمق بهینه نصب حاصل از اجرای مدل بهینه‌سازی چندهدفه حداقل ۱/۲ تا ۱/۸ متر است. عمق نصب ۱/۲۵ تا ۱/۶۵ متر، قطر ۰/۱ و فاصله نصب لوله‌های زهکش ۳۰ تا ۵۰ متر جواب مطلوب نهایی هستند که بسته به روش رفع اختلاف به کار گرفته شده حاصل شده است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم شبیه‌سازی شده، شوری، هزینه احداث، Kalai-Smorodinsky، Area Monotonic و Nash

مقدمه

در دهه‌های گذشته عمق کارگذاری لوله‌های زهکشی به گونه‌ای تعیین شده است که هزینه‌های اجرای شبکه زهکشی به کمینه مقدار خود برسد. با افزایش عمق نصب، ابتدا هزینه کل تا حدی کاهش و سپس افزایش می‌یابد. اما افزایش عمق نصب باعث افزایش تخلیه زه‌آب، افزایش املاح و نهایتاً باعث مشکلات زیست‌محیطی فراوانی شده است. لزوم تجدیدنظر در عمق نصب زهکش‌ها در دستور کار متخصصین زهکشی قرار گرفته است (Moridnejad, 2008). تحقیقات زیادی تاکنون در خصوص بهینه‌سازی طراحی سامانه‌های زهکشی بر اساس رویکرد اقتصادی و زیست‌محیطی انجام شده است. از جمله تحقیقات انجام گرفته در زمینه طراحی زهکش از دیدگاه زیست‌محیطی

می‌توان به مطالعات (Adimi, 2006; Sotoodehnia et al., 2014; Hasanoghli, 2006; Akram and Akram, 2004; Mahjoubi et al., 2014;) و از دیدگاه اقتصادی به (Asgari et al., 2011; Zadesh Pargo et al., 2015; Ritzema et al., 2006; Samipour et al., 2011; Soleimaninadegani et al., 2013) و ترکیب دو دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی به مطالعات (Nazari et al., 2008; Mazandarani Zadeh, 2016) اشاره نمود.

در استان خوزستان تخلیه حجم قابل توجهی از زه‌آب کشاورزی به رودخانه‌ها و آب‌های سطحی سبب کاهش کیفیت آب پایین دست گردیده است. شروع بهره‌برداری از طرح توسعه نیشکر در خوزستان و تخلیه زه‌آب‌های شور به رودخانه کارون موجب مشکلات زیست‌محیطی فراوانی برای تالاب شادگان شده است. دفع زه‌آب خروجی از زهکش با شوری بالا و اثر مخرب آن بر محیط‌زیست همواره به صورت یکی از چالش‌های اساسی در

* نویسنده مسوول: mazandaranzadeh@eng.ikiu.ac.ir

مدل‌های بهینه‌سازی تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک^۱ (GA) و فرآیند بازپخت فلزات^۲ (SA) مدل‌هایی قوی در مواجهه با مسائلی هستند که امکان حل آنها با شیوه‌های ریاضیات کلاسیک به دلایلی نظیر عدم مشتق‌پذیری تابع، عدم تحدب فضای جواب، عدم پیوستگی و ... مقدور نیست. این مدل‌ها نه تنها در حل مسائل تک‌هدفه با اقبال فراوانی مواجه شده‌اند، بلکه سرعت و دقت آنها در حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه تبدیل به یکی از مهمترین نقاط قوت آنها شده است. مطالعات زیادی در خصوص به کارگیری الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه NSGA-II در زمینه مسائل آب انجام شده است (Mazandarani Zadeh, 2016; Bi et al., 2015)، لیکن تاکنون مطالعات کمی در خصوص استفاده از مدل بهینه‌سازی چندهدفه بازپخت فلزات^۳ (AMOSA) در زمینه مسائل آب انجام شده است (Marques et al., 2015).

استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه در طراحی زهکش با هدف اقتصادی و یا زیست‌محیطی به دفعات گزارش شده است، لیکن مطالعات کمی در زمینه تلفیق هم‌زمان آنها انجام شده است. مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه ابزار قدرتمند در مواجهه با مسائلی هستند که جنس اهداف آنها با یکدیگر ناهمگون بوده و از قابلیت جمع‌پذیری برخوردار نیستند. تاکنون مطالعات بسیار کمی در زمینه بهینه‌سازی طراحی زهکش زیرزمینی با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه انجام شده و به ویژه اینکه استفاده از روش AMOSA در زمینه مسائل آب به ندرت گزارش شده است. در این مطالعه به ارائه مدل بهینه‌سازی چندهدفه اقتصادی-زیست محیطی طراحی پارامترهای زهکشی با استفاده از مدل بهینه‌سازی AMOSA پرداخته شده است. سپس از بین جواب‌های بهینه به دست آمده، با استفاده از چندین مدل رفع اختلاف نظیر Kalai-Smorodinsky، Area Monotonic و Nash جواب بهینه مطلوب نهایی محاسبه و ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور ارائه جواب مطلوب نهایی حاصل از مدل بهینه‌سازی چندهدفه که به صورت هم‌زمان دربرگیرنده اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از اجرای طرح‌های زهکشی باشد نیاز به مدل هیدرولیکی تخلیه زهکش، مدل بهینه‌سازی چندهدفه و مدل رفع اختلاف است.

طرح‌های زهکشی و مسائل زیست‌محیطی در کشور مطرح است. شوری زه‌آب خروجی از زهکش از دو بخش مجزا تشکیل شده است: الف) بخش بالای زهکش که کیفیت آن متأثر از آبیاری و فعالیت‌های کشاورزی است، ب) بخش پایین زهکش که کیفیت آن تحت تأثیر شوری آب زیرزمینی است (Pazira and Homaei, 2010).

در طرح‌های زهکشی همانند هر طرح دیگری تجزیه و تحلیل اقتصادی یکی از عملیات بسیار مهم است که به منظور توجیه مخارج و مقایسه بین گزینه‌های مختلف باید انجام شود و کوشش اغلب مدیران طرح‌ها در کاهش هزینه‌ها است (Asgari et al., 2011). نتایج یک مدل اقتصادی در خصوص هزینه‌های اجرائی شبکه‌های زهکشی زیرزمینی برای منطقه به شهر نشان می‌دهد 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 آن با شدت کمتر رخ می‌دهد. قیمت و هزینه نصب لوله‌های با سایز بزرگ، نسبت به لوله‌های کوچک‌تر، بیشتر است زیرا در نصب لوله‌های قطورتر خاک‌برداری بیشتری انجام می‌گیرد، علاوه بر اینکه قیمت لوله‌های سایز بزرگ گران‌تر است. فواصل زهکش‌ها در سامانه زهکشی زیرزمینی عامل مهمی در تعیین هزینه تمام‌شده است، به نحوی که با افزایش فواصل می‌توان هزینه‌های احداث طرح را در حد مطلوب کاهش داد. ضریب زهکشی پارامتر بسیار حساسی است که نقش به‌سزایی در تعیین فواصل زهکش‌ها ایفا می‌کند و محاسبه دقیق آن، تأثیر قابل توجهی بر فاصله زهکش‌ها و بالطبع کاهش هزینه‌های اقتصادی دارد. (Zadesh Pargo et al., 2015)

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد با افزایش عمق فاصله زهکش‌ها افزایش می‌یابد، ولی از یک حد معین به بعد، افزایش عمق باعث افزایش بیش‌ازحد هزینه‌ها می‌گردد (Samipour et al., 2011). نتایج مدل بهینه‌سازی چندهدفه اقتصادی-زیست‌محیطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک NSGA-II نشان می‌دهد افزایش عمق نصب زهکش منجر به کاهش هزینه‌های اجرا و افزایش بار آلودگی خروجی به محیط‌زیست خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد با کاهش عمق نصب می‌توان به کیفیت بهتر زه‌آب خروجی دست یافت، به طوری که ۱۰۰ درصد افزایش هزینه احداث ناشی از تغییر عمق نصب زهکش، منجر به ۵۰ درصد بهبود در شوری زه‌آب خروجی خواهد شد (Mazandarani Zadeh, 2016).

1. Genetic Algorithm
2. Simulated Annealing
3. Archived Multi-Objective Simulated Annealing

مدل هیدرولیکی تخلیه زهکش

هنگامی که سفره آب زیرزمینی در بالای سطح زهکش قرار می‌گیرد، جریان ورودی به زهکش‌ها (q) از دو قسمت بالا (q_{up}) و پایین تر از زهکشی (q_{down}) تشکیل شده است.

$$q = q_{up} + q_{down} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$q_{down} = \frac{8k_b d_e h}{L^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$q_{up} = \frac{4k_a h^2}{L^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$q = \frac{8k_{down} d_e h + 4k_{up} h^2}{L^2} \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$d_e = \frac{D}{\left(\frac{8D}{\pi L} \ln\left(\frac{D}{u}\right)\right) + 1} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$\text{if } D < \frac{1}{4} L \quad d_e = \frac{\pi L}{8 \ln \frac{L}{u}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

به نحوی که k_{up} (m/day) و k_{down} (m/day) به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع بالا و پایین محل نصب زهکش، d_e (m) عمق معادل فاصله سطح زهکش تا لایه غیرقابل نفوذ، L (m) فاصله زهکش‌ها، D (m) فاصله عمودی میان عمق نصب زهکش و لایه نفوذناپذیر و u (m) محیط خیس شده است.

مدل بهینه‌سازی:

شبیه‌سازی بازپخت فلزات (SA) یک الگوریتم فراابتکاری ساده و اثربخش در حل مسائل بهینه‌سازی است و روشی مؤثر در روش‌های بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت به شمار می‌آید. الگوریتم SA در بیشینه دمای سامانه (T_{max}) و از یک جواب اولیه تصادفی (a) شروع و با ایجاد یک جواب جدید (b) در همسایگی جواب قبلی ادامه می‌یابد. جواب‌هایی که باعث بهبود تابع هدف شوند قطعاً پذیرفته شده و سایر جواب‌ها با احتمال (P) پذیرفته می‌شوند.

$$P = \exp(-\Delta E / kT) \quad (\text{رابطه ۷})$$

ΔE میزان تفاوت تابع هدف به ازای دو جواب a و b، T

دمای حال حاضر سامانه و k ثابت بولتزمن^۱ است. اگر P از یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ بیشتر باشد، جواب نامناسب پذیرفته و جایگزین نقطه موجود خواهد شد، در غیر این صورت جواب جدید رد می‌شود (Kirkpatrick et. al, 1983). مراحل فوق به تعداد n بار در هر دما تکرار شده و با کاهش دما به صورت $T_{i+1} = \alpha T_i, \alpha < 1$ مراحل فوق به ازای دمای جدید تا رسیدن به کمینه دما (T_{min}) ادامه یافته و الگوریتم خاتمه می‌یابد. α نرخ کاهش دما است.

الگوریتم بهینه‌سازی چندهدفه شبیه‌سازی بازپخت فلزات (AMOSA):

الگوریتم AMOSA بر پایه اصول SA و دارای مفهوم آرشیو است به نحوی که تمام جواب‌های نامغلوب در آرشیو ذخیره می‌شوند (Bandyopadhyay et al., 2008). اگر جواب a از نظر تمام اهداف مسئله بدتر از جواب b نباشد و حداقل در یک هدف نسبت به آن برتری داشته باشد، بر جواب b غلبه می‌کند. جواب a غالب و جواب b مغلوب خوانده می‌شود و در غیر این صورت دو جواب نامغلوب نامیده می‌شوند.

(رابطه ۸)

$$(f_i(a) \geq f_i(b) \quad \forall i=1,2,3,\dots,M) \text{ and } (f_i(a) > f_i(b) \quad \exists i=1,2,3,\dots,M)$$

$f_i(a)$ مقدار هدف i ام به ازای جواب a، $f_i(b)$ مقدار هدف i ام به ازای جواب b و M تعداد توابع هدف است. با استفاده از رابطه (۸) برحسب اینکه جواب موردنظر توسط چه تعداد جواب دیگر مغلوب شده باشند، جواب‌ها به جبهه‌های پارتو ۱، ۲ و ... خوشه‌بندی می‌شوند. به نحوی که جواب‌های واقع بر جبهه اول توسط هیچ جواب دیگری مغلوب نشده و با یکدیگر نامغلوب می‌باشند. در این الگوریتم علاوه بر مفهوم غلبه، از مفهوم مقدار غلبه (Δdom) برای محاسبه احتمال پذیرش استفاده می‌شود:

(رابطه ۹)

$$\Delta dom_{a,b} = \prod_{i=1, f_i(a) \neq f_i(b)}^M (|f_i(a) - f_i(b)| / R_i)$$

$\Delta dom_{a,b}$ مقدار غلبه بین جواب‌های a و b و R_i محدوده هدف i -ام است.

در شروع، دمای سامانه برابر بیشترین مقدار (T_{max}) فرض شده و با پیشرفت الگوریتم دما (T) به تدریج کاهش و تا رسیدن به دمای کمینه (T_{min}) ادامه می‌یابد. الگوریتم با ساختن آرشیو اولیه، شامل تعدادی جواب تصادفی، آغاز می‌شود. سپس یک نقطه به نام جواب فعلی (current) به صورت تصادفی از آرشیو انتخاب شده و با ایجاد تغییری در آن، جواب جدید (new) در

آرشیو نباشد. در این حالت کمترین مقدار غلبه (Δdom_{min}) بین جواب جدید و k عضو آرشیو محاسبه می‌شود. عضوی از آرشیو که کمترین اختلاف مقدار غلبه را با جواب جدید دارد به‌عنوان جواب فعلی با احتمال P پذیرفته و در غیر این صورت جواب جدید به‌عنوان جواب فعلی انتخاب می‌شود.

$$P = \frac{1}{1 + \exp(-\Delta dom_{min})} \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

جواب جدید و نقاط آرشیو نسبت به هم نامغلوب هستند ولی نسبت به جواب فعلی نامغلوب نیست. بنابراین جواب جدید که اکنون به‌عنوان جواب فعلی پذیرفته شده است می‌تواند به‌عنوان یک جواب جدید نامغلوب در نظر گرفته شود و در آرشیو ذخیره شود. اگر جواب فعلی عضو آرشیو است از آن حذف می‌شود. از طرف دیگر اگر اعضای آرشیو از مقدار مشخصی بیشتر شده‌اند تعدادی از اعضا حذف می‌شوند.

جواب جدید بر k ($k \geq 1$) عضو آرشیو نیز غلبه می‌کند. از این رو جواب جدید به‌عنوان جواب فعلی پذیرفته و به آرشیو اضافه می‌شوند و نقاط مغلوب آرشیو حذف می‌شوند. در این حالت هم جواب فعلی ممکن است در آرشیو قرار داشته باشد و ممکن است که در آن نباشد.

مراحل فوق به تعداد n بار در هر دما تکرار یافته، با کاهش دما به صورت $T_{i+1} = \alpha.T_i$ مراحل فوق به ازای دمای جدید تا رسیدن به کمینه دما (T_{min}) ادامه یافته و الگوریتم خاتمه می‌یابد. آرشیو نهایی ایجاد شده، مجموعه جواب‌های نهایی مسئله است که با یکدیگر نامغلوب بوده و توسط جواب دیگری نیز مغلوب نشده‌اند، به عبارت دیگر مجموعه جواب‌های آرشیو تشکیل جبهه پارتو می‌دهند.

مدل انتخاب نقطه مطلوب (رفع اختلاف)

همان‌گونه که در بخش قبل اشاره شد، هیچ‌یک از مدل‌های بهینه‌سازی چندهدفه از جمله مدل AMOSA دارای جواب واحدی نیستند و خروجی آن‌ها تعدادی جواب است که نسبت به هم نامغلوب بوده و هیچ‌یک بر دیگری برتری ندارد. برای یافتن جواب نهایی در بین جواب‌های جبهه پارتو، چندین روش حل اختلاف پیشنهاد شده است.

روش Nash: این روش برای رفع اختلاف میان دو بازیکن و یا انتخاب نقطه مطلوب در بین جواب‌های مسئله بهینه‌سازی دو هدفه پیشنهاد شده است (Salazar et al. 2007).

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } (f_1 - d_1)(f_2 - d_2) \\ & \text{S.T:} \\ & d_1 \leq f_1 \leq m_1 \\ & d_2 \leq f_2 \leq m_2 \end{aligned} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

همسایگی آن ساخته می‌شود. بر اساس وضعیت غلبه بین جواب جدید، فعلی و نقاط داخل آرشیو سه حالت مختلف قابل پیش‌بینی است:

۱- جواب فعلی و k ($k \geq 0$) نقطه از آرشیو بر جواب جدید غلبه می‌کنند.

جواب جدید با احتمال P به‌عنوان جواب فعلی پذیرفته می‌شود.

$$P = \frac{1}{1 + \exp(\Delta dom_{avg} \times T)} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

(رابطه ۱۱)

$$\Delta dom_{avg} = \frac{(\sum_{i=1}^k \Delta dom_{i,new}) + \Delta dom_{current, new}}{(k+1)}$$

جواب فعلی و جواب جدید نسبت به هم نامغلوب هستند. بر اساس وضعیت غلبه بین جواب جدید و اعضای آرشیو، بروز سه حالت ممکن است:

جواب جدید توسط k نقطه از آرشیو مغلوب می‌شود ($k \geq 1$)

در این شرایط جواب جدید با احتمال P به‌عنوان جواب فعلی پذیرفته می‌شود.

$$P = \frac{1}{1 + \exp(\Delta dom_{avg} \times temp)} \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

$$\Delta dom_{avg} = \frac{(\sum_{i=1}^k \Delta dom_{i,new})}{k} \quad (\text{رابطه ۱۳})$$

جواب جدید و تمام نقاط آرشیو نسبت به هم نامغلوب هستند.

در این صورت جواب جدید در جبهه‌ای قرار دارد که نقاط آرشیو در آن هستند. بنابراین جواب جدید به‌عنوان جواب فعلی انتخاب شده و به آرشیو اضافه می‌شود. اگر تعداد جواب‌های آرشیو از حد مشخصی تجاوز نمود، تعدادی از اعضای آرشیو حذف می‌شوند.

جواب جدید k ($k \geq 1$) نقطه از آرشیو را مغلوب می‌کند. در این حالت جواب جدید به‌عنوان جواب فعلی انتخاب و وارد آرشیو می‌شود و تمام k نقطه مغلوب، از آرشیو حذف می‌شوند.

جواب جدید بر جواب فعلی غلبه می‌کند. با توجه به وضعیت غلبه جواب جدید و اعضای آرشیو ممکن است سه حالت قابل پیش‌بینی است:

جواب جدید بر جواب فعلی غلبه می‌کند ولی k ($k \geq 1$) عضو از آرشیو بر آن غلبه دارند.

این وضعیت فقط زمانی رخ می‌دهد که جواب فعلی عضو

در رابطه بالا منظور از $Cost$ هزینه کل است که شامل، C_1, C_2, C_3, C_4 به ترتیب هزینه اجرای لترال، کل هزینه اجرای کلکتور، هزینه مربوط به منهول و هزینه احداث جاده سرویس است. C_{1a} و C_{2a} به ترتیب هزینه یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1b} و C_{2b} هزینه حفاری، نصب لوله و فیلتر و خاکریزی در واحد متر به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1c} و C_{2c} هزینه تهیه و حمل هر مترمکعب فیلتر شنی دانه‌بندی شده به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1d} و C_{2d} هزینه حمل مواد حاصله از عملیات خاکی برحسب مترمکعب در کیلومتر به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور، C_{1e} و C_{2e} هزینه‌های مربوط به اضافه بها نظیر سختی کار در حفاری بیشتر از عمق ۲ متر و عمق نصب لوله در زیر سطح ایستایی به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور می‌باشند. C_3 هزینه اجرای کل منهول نیز شامل هزینه اجرای یک منهول در تعداد منهول‌های موردنیاز است (Zadesh Pargo et al, 2015). (رابطه ۲۰)

$$OF_2 = \text{Min } S_{Out}$$

S.T:

$$S_{Out} \times q = S_{up} \times q_{up} + S_{down} \times q_{down}$$

$$S_{Out} = S_{up} \times \frac{4k_{up}h^2}{4k_{up}h^2 + 8k_{down}d_e h} + S_{down} \times \frac{8k_{down}d_e h}{4k_{up}h^2 + 8k_{down}d_e h}$$

در رابطه فوق S_{up}, S_{down} و S_{Out} به ترتیب شوری تخلیه‌شده، شوری ناحیه بالا و شوری ناحیه پایین سطح زهکش برحسب دسی زیمنس بر متر است.

مطالعه موردی:

برای اعمال مدل بهینه‌سازی چندهدفه پیشنهادی از اطلاعات یکی از واحدهای مربوط به شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی به وسعت ۲۵ هکتار استفاده شده است. این واحد در فاصله ۴۰ کیلومتری جنوب اهواز و در مسیر جاده اهواز-آبادان واقع است. مرکز این منطقه با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. منبع اصلی تأمین آب موردنیاز آبیاری مزارع نیشکر، رودخانه کارون است که در فاصله دو کیلومتری در غرب اراضی طرح قرار دارد.

اطلاعات اقتصادی طرح

نحوه اجرای یک سامانه زهکشی با توجه به طراحی انجام‌شده در هر منطقه متفاوت بوده و هزینه آن با توجه به روباز یا زیرزمینی بودن سامانه متغیر است. از عوامل دیگر مؤثر در هزینه، قطر لوله‌های مورداستفاده، نحوه حفاری و نوع ماشینی است که در

f_1 و f_2 مقدار توابع هدف ۱ و ۲، d_1 و d_2 کمترین و m_1 و m_2 بیشترین مقادیر به ترتیب تابع هدف ۱ و ۲ است. در اهداف نرمال‌شده $d_2 = d_1 = 0$ و $m_1 = m_2 = 1$ است.

روش Non-Symmetric Nash: این روش در واقع همان روش Nash است با این تفاوت که ممکن است اهداف از درجه اهمیت متفاوت برخوردار باشند (Harsanyi and Selten, 1972).

$$\text{Maximize } (f_1 - d_1)^{w_1} (f_2 - d_2)^{w_2}$$

S.T:

$$d_1 \leq f_1 \leq m_1$$

$$d_2 \leq f_2 \leq m_2$$

(رابطه ۱۶)

w_1 و w_2 به ترتیب درجه اهمیت اهداف ۱ و ۲ هستند.

روش Kalai-Smorodinsky: این روش که در سال ۱۹۷۵ ارائه شد بر مبنای تقاطع خطوط ترسیم‌شده از مبنا با منحنی

نرمال شده است (Smorodinsky and kalai, 1975).

$$d_2 + \left[\frac{(m_2 - d_2)}{(m_1 - d_1)} \right] (f_1 - d_1) \left(\frac{w_2}{w_1} \right) - f_2 = 0$$

S.T:

$$d_1 \leq f_1 \leq m_1$$

$$d_2 \leq f_2 \leq m_2$$

(رابطه ۱۷)

چنانچه w_1 و w_2 برابر باشند این روش منجر به انتخاب

نقطه تقاطع نیمساز با منحنی نرمال شده خواهد شد.

روش Area Monotonic: این روش مبتنی بر تقسیم

فضای زیر منحنی پارتو به دو قسمت بر اساس اهمیت اهداف

است. چنانچه w_1 و w_2 برابر باشند این روش منجر به انتخاب

نقطه‌ای خواهد شد که منحنی را از نظر مساحت به دو بخش

برابر تقسیم می‌نماید (Anbarchi, 1993).

(رابطه ۱۸)

$$w_2 \left[\int_{d_1}^x g(t) dt - \frac{1}{2}(x-d_1)(g(x)+d_2) \right] = w_1 \left[\int_x^{m_1} g(t) dt - (m_1-x)d_2 + \frac{1}{2}(x-d_1)(g(x)-d_2) \right]$$

مدل اقتصادی - زیست‌محیطی پیشنهادی:

هدف از این تحقیق ارائه مدلی اقتصادی - زیست‌محیطی

به‌منظور طراحی پارامترهای زهکشی است که علاوه بر کاهش

هزینه‌های احداث، مشکلات ناشی از مسائل زیست‌محیطی نیز

کمینه شود. مدل پیشنهادی از دو هدف مستقل اقتصادی

(OF_1) و زیست‌محیطی (OF_2) تشکیل شده است.

$$OF_1 = \text{Min } Cost$$

S.T:

$$Cost = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$C_1 = C_{1a} + C_{1b} + C_{1c} + C_{1d} + C_{1e}$$

$$C_2 = C_{2a} + C_{2b} + C_{2c} + C_{2d} + C_{2e} \quad (\text{رابطه ۱۹})$$

در مابین آن‌ها از سهراهی استفاده نمود. در الگوی کشت نیشکر پیشنهاد می‌گردد به ازای تمام تقاطع‌ها منهول کارگذاری شود. هزینه اجرای منهول (C_3) برابر یک میلیون ریال برآورد و از ضرب تعداد منهول به کاررفته در طول زمین تحت زهکشی در قیمت منهول هزینه کل منهول‌ها به دست می‌آید. همچنین هزینه احداث جاده سرویس (C_4) معادل صد و پنجاه میلیون ریال در هر کیلومتر برآورد شده است.

اجرای عملیات زهکشی به کاربرده می‌شوند. به این منظور فهرست‌بهای سال ۱۳۹۴ ملاک محاسبه قیمت قرار گرفته و به منظور محاسبه قیمت لوله از کارخانه‌های سازنده استعلام شده است. جدول‌های (۱) و (۲) به ترتیب اطلاعات موردنیاز از فهرست‌بها سال ۱۳۹۴ و قیمت لوله را نمایش می‌دهد. با توجه به الگوهای کشت متفاوت، می‌توان در نقاط تقاطع کلکتور با لترال به صورت یک‌درمیان یا دو در میان منهول کارگذاری کرد و

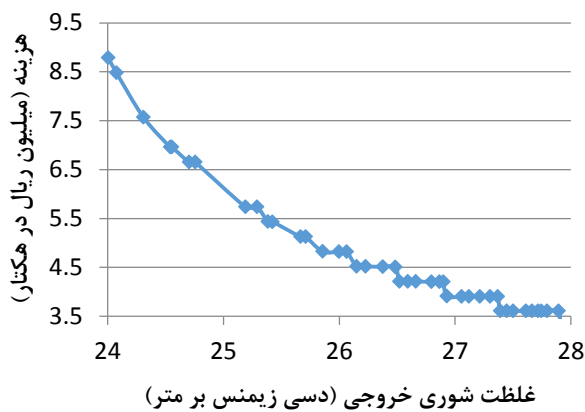
جدول ۱- ردیف‌هایی از فهرست‌بهای سال ۱۳۹۴

شماره آیتم	شرح	واحد	بهای واحد (ریال)
۱۲۰۱۰۱	اجرای زهکش‌های زیرزمینی (زهکش‌های عمقی) با لوله خرطومی مشبک یا مشابه تا قطر ۲۰۰ میلی‌متر، با ترانشه به عرض ۵۰ سانتی‌متر و عمق تا ۲ متر، با ترنچر.	متر طول	۴۴۰۰۰
۱۲۰۲۰۱	اضافه‌بها به ازای ردیف ۱۲۰۱۰۱ چنانچه عمق ترانشه بیش از ۲ متر و تا ۳ متر باشد.	متر طول	۱۱۳۰۰
۱۲۰۶۰۱	اضافه‌بها به ردیف‌های لوله‌گذاری، برای آن قسمت عملیات که در زیر تراز آب زیرزمینی انجام شود و استفاده از تلمبه موتوری در حین انجام عملیات برای خارج ساختن آب الزامی باشد.	مترمکعب	۲۸۸۰۰
۱۲۰۶۰۲	اضافه‌بها به ردیف‌های لوله‌گذاری، هرگاه عملیات زیر تراز آب زیرزمینی و بدون استفاده از تلمبه موتوری انجام شود.	مترمکعب	۱۸۶۰۰
۰۴۰۸۰۱	تهیه و حمل مصالح قشر فیلتر دانه‌بندی شده برای مصرف در ترانشه زهکش‌ها و یا زیر پوشش کانال‌ها و ابنیه فنی هیدرولیکی.	مترمکعب	۱۷۸۰۰۰
۰۳۱۳۰۳	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، مانند راه‌های سرویس، ارتباطی و انحرافی، در صورتی که فاصله 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	۳۶۱۰
۰۳۱۳۰۴	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، در صورتی که فاصله حمل بیش از ۱۰ کیلومتر تا ۳۰ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۱۰ کیلومتر (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب- کیلومتر	۳۲۹۰
۰۳۱۳۰۵	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، در صورتی که فاصله حمل بیش از ۳۰ تا ۷۵ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۳۰ کیلومتر (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب- کیلومتر	۲۹۶۰
۰۳۱۳۰۶	حمل مواد حاصل از عملیات خاکی یا خاک‌های توده شده در راه‌های ساخته نشده، در صورتی که فاصله حمل بیش از ۷۵ کیلومتر باشد، برای هر کیلومتر اضافه بر ۷۵ کیلومتر (کسر کیلومتر به تناسب محاسبه می‌شود).	مترمکعب- کیلومتر	۲۳۰۰

آبیاری و مشخصات خاک است. مطابق رابطه (۲۰) شوری زه آب خروجی S_{Out} به شوری ناحیه بالا (S_{up}) و پایین سطح زهکش (S_{down}) وابسته است. از شوری آب آبیاری به عنوان (S_{up}) و از

اطلاعات زیست‌محیطی طرح
اطلاعات پایه زیست‌محیطی مطالعه موردی در جدول (۳) ارائه شده است. اطلاعات پایه شامل اطلاعات آبیاری، مشخصات آب

شکل (۱) نمایش داده شده است. در این نمودار آرشو به دست آمده نهایی از الگوریتم AMOSA ارائه شده است که جوابها نسبت به یکدیگر نامغلوب بوده و هیچ یک بر دیگری برتری ندارد. همان طور که در این نمودار مشاهده می شود، تعدادی از جوابها از لحاظ زیست محیطی مطلوب بوده و کمترین شوری را در میان سایر جوابها دارند، ولی هزینه احداث آنها بسیار بالا است و مزیت اقتصادی ندارند و بالعکس برخی جوابها نیز از شرایط مناسب هزینه ای برخوردار هستند لیکن از نظر زیست محیطی نامطلوب می باشند.



شکل ۱- نتایج حاصل از مدل دوهدفه اقتصادی- زیست محیطی

جدول (۵) تعدادی از جوابهای حاصل از مدل بهینه سازی را نشان می دهد. سه ستون اول جدول، پارامترهای بهینه طراحی، ستون ۴ هزینه کل و ستون ۵ شوری زه آب خروجی است. بر اساس نتایج جدول، فقط عمق ۲/۸ متر و قطر ۰/۱۲۵ متر برای لوله های زهکش انتخاب شده است و این قطر به دلیل افزایش عمق و در نتیجه آن، افزایش فاصله زهکشها است که در این حالت لوله با قطر ۰/۱ متر جوابگوی حجم زه آب وارد به آن نیست. همان طور که در جدول (۵) مشاهده می شود، انتخاب عمق نصب ۲/۸ متر منجر به کاهش حدوداً ۶ میلیون تومان هزینه در هر هکتار و افزایش شوری زهاب به میزان ۱۹٪ نسبت به عمق نصب ۱/۱۳ شده است. اگر از دو گزینه ابتدا و انتهای جدول چشم پوشی شود، بقیه جوابها حداقل ۱/۲ تا ۱/۸ متر هستند، به عبارت دیگر مجموعه جوابهایی که هر دو هدف اقتصادی و زیست محیطی را بر اساس شرایط ذکر شده برای این مطالعه موردی ارضا می نمایند حداقل این دو عمق قرار دارند.

اطلاعات تحقیق انجام شده قبل برای (S_{down}) استفاده شده است. جدول (۴) تغییرات شوری در مقابل عمق را نمایش می دهد (Rajab Zadeh et al., 2011).

جدول ۲- قیمت لوله زهکش

نام محصول	سایز (میلی متر)	قیمت (ریال)
لوله زهکش (PVC)	۱۰۰	۲۸۰۰۰
بدون پوشش	۱۶۰	۵۰۰۰۰
	۲۰۰	۷۰۰۰۰
		۱۳۵۰۰۰

جدول ۳- اطلاعات پایه واحد کشت و صنعت سلمان فارسی

پارامتر	واحد	مقدار
مساحت شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی	hec	۷۵۰۰
طول قطعه زراعی	m	۱۰۰۰
عرض قطعه زراعی	m	۲۵۰
هدایت هیدرولیکی اشباع	$m.day^{-1}$	۱
عمق ناخالص آب آبیاری	cm	۲۰
دور آبیاری	day	۶
ضریب زهکشی	$mm.day^{-1}$	۶
عمق لایه غیر قابل نفوذ	m	۵
عمق آب زیرزمینی سطح ایستابی قبل از اجرای سامانه زهکشی	m	۱/۵
عمق تثبیت سطح ایستابی	m	۱
شوری آب آبیاری	$dS.m^{-1}$	۲/۵

جدول ۴- هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک

عمق خاک (سانتی متر)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
۰-۲۵	۱۰۴/۷
۲۵-۵۰	۴۰/۹
۵۰-۷۵	۲۴/۴
۷۵-۱۰۰	۳۲/۶
۱۰۰-۱۲۵	۳۰/۷
۱۲۵-۱۵۰	۲۹/۶

نتایج و بحث

مدل بهینه سازی دو هدفه پیشنهادی، برای اطلاعات شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی اجرا و نتایج حاصل از آن در

جدول (۵) نتایج حاصل از مدل دوهدفه اقتصادی - زیست محیطی

عمق بهینه (متر) قطر بهینه (متر) فاصله زهکش‌ها (متر) هزینه کل (میلیون تومان در هکتار) شوری زه آب (دسی‌زیمنس بر متر)					
۱/۱۳	۰/۱	۱۸/۴۸	۸/۷۹	۲۴/۰۱	
۱/۲۰	۰/۱	۲۴/۴۷	۶/۶۵	۲۴/۷۰	
۱/۲۶	۰/۱	۲۹/۱۸	۵/۷۳	۲۵/۲۹	
۱/۳۰	۰/۱	۳۲/۱۰	۵/۱۳	۲۵/۶۷	
۱/۳۴	۰/۱	۳۴/۶۶	۴/۸۲	۲۶/۰۰	
۱/۴۱	۰/۱	۳۸/۴۳	۴/۵۱	۲۶/۴۸	
۱/۶۰	۰/۱	۴۷/۹۴	۳/۶۱	۲۷/۶۷	
۱/۶۷	۰/۱	۵۱/۰۱	۳/۳۲	۲۸/۰۱	
۱/۸۲	۰/۱	۵۷/۱۶	۳/۲۰	۲۸/۶۴	
۲/۸۰	۰/۱۲۵	۸۳/۸۸	۲/۵۱	۲۸/۸۵	

انتخاب نقطه مطلوب

برابر باشد عمق مطلوب نصب زهکش در حدود ۱/۴ متر است و چنانچه اهمیت هدف اقتصادی دو برابر بیش از هدف زیست محیطی باشد عمق مطلوب نصب در حدود ۱/۵ متر مناسب است. درحالی که اگر اهمیت هدف زیست محیطی بیش از هدف اقتصادی باشد عمق بهینه نصب با استفاده از روش‌های مختلف در حدود ۱/۳ متر است.

برای انتخاب یک جواب مطلوب از میان مجموعه جواب‌های به دست آمده از چهار روش رفع اختلاف توضیح داده شده استفاده شد. نتایج در جدول (۶) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد عمق نقطه مطلوب نهایی بسته به استفاده از روش‌های مختلف رفع اختلاف، از ۱/۲۵ تا ۱/۶۵ متر متفاوت است. همچنین نتایج نشان می‌دهد چنانچه اهمیت اهداف اقتصادی و زیست محیطی

جدول ۶- جواب مطلوب حاصل از نتایج مدل اقتصادی- زیست محیطی

روش انتخاب جواب مطلوب	عمق (متر)	قطر (متر)	فاصله (متر)	هزینه (میلیون تومان در هکتار)	شوری زه آب (ds/m)
Nash	۱/۴۰	۰/۱	۳۸/۴۲	۴/۵۰	۲۶/۴۸
Non-Symmetric Nash, $w_1=2, w_2=1$	۱/۲۵	۰/۱	۲۹/۱۷	۵/۷۳	۲۵/۲۹
Non-Symmetric Nash, $w_1=1, w_2=2$	۱/۶۴	۰/۱	۴۹/۹۳	۳/۶۰	۲۷/۸۹
Kalai-Smorodinsky, $w_1=1, w_2=1$	۱/۳۴	۰/۱	۳۴/۶۵	۴/۸۱	۲۵/۹۹
Kalai-Smorodinsky, $w_1=2, w_2=1$	۱/۲۵	۰/۱	۲۹/۱۷	۵/۷۳	۲۵/۲۹
Kalai-Smorodinsky, $w_1=1, w_2=2$	۱/۴۳	۰/۱	۳۹/۸	۴/۲۰	۲۶/۶۶
Area Monotonic, $w_1=1, w_2=1$	۱/۳۵	۰/۱	۳۵/۱۷	۴/۸	۲۶/۰۶
Area Monotonic, $w_1=2, w_2=1$	۱/۲۴	۰/۱	۲۸/۳۷	۵/۷۳	۲۵/۱۸
Area Monotonic, $w_1=1, w_2=2$	۱/۴۷	۰/۱	۴۱/۹۱	۳/۹۰	۲۶/۹۲

نتیجه گیری

تجدیدنظر در طراحی سامانه‌های زهکشی مورد توجه قرار گرفته است. لذا به نظر می‌رسد در طراحی زهکش علاوه بر مسائل اقتصادی باید موضوعات زیست محیطی نیز مدنظر قرار گیرد. با توجه به ماهیت متفاوت هدف اقتصادی و زیست محیطی استفاده از مدل بهینه‌سازی چندهدفه AMOSA که مدلی بر پایه SA است، مد نظر قرار گرفت. با توجه به اینکه خروجی مدل‌های

با نگاه دقیق به سامانه‌های زهکشی موجود و مشکلات آن‌ها می‌توان به اهمیت تعیین بهینه‌ی پارامترهای طراحی این سامانه‌ها پی برد. در گذشته بیشتر به جنبه‌ی اقتصادی طرح‌های زهکشی پرداخته می‌شده، ولی با گذشت زمان و ایجاد مشکلات زیست محیطی به علت تخلیه‌ی زه آب به طبیعت، لزوم

بهینه‌سازی چندهدفه مجموعه‌ای از جوابهای بهینه است، از مدل‌های رفع اختلاف Kalai-Smorodinsky، Area Monotonic و Nash به منظور محاسبه نقطه بهینه نهایی استفاده شد. به منظور اعمال مدل پیشنهادی از اطلاعات دو واحد زراعی شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی به مساحت ۵۰ هکتار و اطلاعات فهرست بهای سال ۱۳۹۴ استفاده شد. خروجی‌های مدل شامل عمق، قطر، فاصله زهکش‌ها، هزینه‌های احداث و شوری خروجی از سامانه زهکشی می‌باشد. برای اطلاعات مطالعه موردی حاضر، عمق بهینه ۱/۱۳ تا ۲/۸ متر، قطر ۰/۱ تا ۰/۱۲۵ متر، فاصله نصب ۱۸ تا ۸۳ متر محاسبه شده است. پس از اعمال مدل‌های رفع اختلاف به منظور محاسبه نقطه مطلوب نهایی، چنانچه هدف اقتصادی و زیست‌محیطی از اهمیت یکسان برخوردار باشد، عمق نصب ۱/۴، قطر ۰/۱ متر، فاصله زهکش‌ها برابر ۳۸ متر، هزینه اجرا ۴/۵ میلیون تومان در هر هکتار و شوری آب زهکش برابر ۲۶/۴۸ دسی زیمنس بر متر است. همچنین پیشنهاد می‌شود با توجه به حساسیت مدل بهینه‌سازی پیشنهادی به پارامترهای ورودی نظیر ضریب زهکشی، عمق لایه‌ی غیرقابل نفوذ، هدایت هیدرولیکی اشباع و تغییرات زیاد این پارامترها در اراضی بزرگ، در ادامه‌ی این تحقیق با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی، این پارامترها به صورت اعداد فازی مدل شوند.

معرفی نمادها:

A : مساحت تحت پوشش توسط یک خط زهکش برحسب مترمربع،
 C_1 : هزینه اجرای لترال،
 C_2 : کل هزینه اجرای کلکتور،
 C_3 : هزینه مربوط به منهول
 C_4 : هزینه احداث جاده سرویس
 C_{1a} : هزینه یک متر لوله لترال
 C_{2a} : هزینه یک متر لوله کلکتور،
 C_{1b} : هزینه حفاری، نصب لوله و فیلتر و خاک‌ریزی در واحد متر به ترتیب برای یک متر لوله لترال
 C_{2b} : نصب لوله و فیلتر و خاک‌ریزی در واحد متر به ترتیب برای یک متر لوله کلکتور،
 C_{1c} : هزینه تهیه و حمل هر مترمکعب فیلتر شنی دانه‌بندی شده به ترتیب برای یک متر لوله لترال
 C_{2c} : هزینه تهیه و حمل هر مترمکعب فیلتر شنی دانه‌بندی شده به ترتیب برای یک متر لوله کلکتور

C_{1d} : هزینه حمل مواد حاصله از عملیات خاکی برحسب مترمکعب در کیلومتر به ترتیب برای یک متر لوله لترال
 C_{2d} : هزینه حمل مواد حاصله از عملیات خاکی برحسب مترمکعب در کیلومتر به ترتیب برای یک متر لوله کلکتور،
 C_{1e} : هزینه‌های مربوط به اضافه بها نظیر سختی کار در حفاری بیشتر از عمق ۲ متر و عمق نصب لوله در زیر سطح ایستایی به ترتیب برای یک متر لوله لترال
 C_{2e} : هزینه‌های مربوط به اضافه بها نظیر سختی کار در حفاری بیشتر از عمق ۲ متر و عمق نصب لوله در زیر سطح ایستایی به ترتیب برای یک متر لوله کلکتور
 $Cost$: هزینه کل اجرای شبکه زهکشی
 C_{Drain} : شوری زه آب خروجی از سامانه
 C_{up} : شوری آب ورودی از سطح بالا زهکش
 C_{down} : شوری آب ورودی از سطح پایین زهکش
 D : فاصله عمودی میان عمق نصب زهکش و لایه نفوذناپذیر برحسب متر
 ΔE : میزان تفاوت تابع هدف به ازای دو جواب
 d : قطر لوله
 d_1 : کمترین مقدار تابع هدف ۱
 $\Delta dom_{a,b}$: مقدار غلبه بین جواب‌های a و b
 d_e : عمق معادل فاصله سطح زهکش تا لایه غیرقابل نفوذ برحسب متر،
 f_1 : مقدار تابع هدف ۱
 $f_i(a)$: مقدار هدف i ام به ازای جواب a
 h : ارتفاع سفره آب در بالای زهکش برحسب متر
 i : شیب خط لوله،
 k : ثابت بولتزمن
 k_{up} : هدایت هیدرولیکی اشباع بالای سطح زهکش برحسب متر در روز،
 k_{down} : هدایت هیدرولیکی اشباع لایه پایین سطح زهکش برحسب متر در روز،
 L : فاصله زهکش‌ها برحسب متر
 m_i : کمترین مقدار تابع هدف i
 Q : دبی زه آب در انتهای لوله‌های زهکش برحسب مترمکعب بر ثانیه،
 q : شدت تخلیه زهکش برحسب متر در روز، ضریب زهکشی
 Q_{Design} : دبی قابل عبور از لوله
 Q_{River} : دبی رودخانه

S_{down} : شوری ناحیه پایین سطح زهکش بر حسب دسی
 زمینس بر متر
 T_{max} : بیشینه دمای سامانه SA
 T_{min} : کمینه دمای سامانه SA
 U : محیط خیس شده بر حسب متر
 W_i : درجه اهمیت هدف i
 α : نرخ کاهش دما

Q_{Drain} : دبی زه آب ورودی به رودخانه
 q_{up} : مقدار آب ورودی از سطح بالای زهکش
 q_{down} : مقدار آب ورودی از سطح پایین زهکش
 P : احتمال پذیرش جواب جدید
 R_i : محدوده هدف i
 S : فاصله زهکش بر حسب متر،
 S_{Out} : شوری تخلیه شده بر حسب دسی زمینس بر متر
 S_{up} : شوری ناحیه بالا سطح زهکش بر حسب دسی زمینس بر متر

REFERENCES

- Moridnejad, A., (2008), A review on some country drainage regulations, *5th workshop on Drainage and Environmental Engineering*, (in Farsi).
- Adimi, M., (2006), A brief outlook on the current situation, challenges and approaches of drainage in Iran, *4th workshop on Drainage and Environmental Engineering*, (in Farsi).
- Sotoodehnia, A., Razi, F., Daneshkar Arasteh, P., (2014), Using SEEP/W numerical model to simulate drain installation depth effects on drain water salinity improvement, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(8) 187-196 (in Farsi).
- Hasanoghli, A., (2006), Management of the system drainage and drainage reuse in agriculture, *4th workshop on Drainage and Environmental Engineering*, (in Farsi).
- Akram, M., Akram, S., (2004), Controlled drainage, glimmer to improve irrigation efficiency in the controlled drainage areas in Iran, *3th workshop on Drainage and Environmental Engineering*, (in Farsi).
- Mahjoubi, A., Hooshmand, A., Naseri, A.A., Jafari, S., (2014), Effect of controlled drainage on reducing drainage coefficient and drainage volume in sugarcane fields of imam khomeini agro-industry, *Journal of Water and Soil*, 27(6) 1133-1144 (in Farsi).
- Asgari, M., Liaghat, A., Parsinezhad, M., (2011), Effectiveness of collector drain on drainage coefficient (A case study: Amir-Kabir agriculture and industry department, Khuzestan province), *Journal of Water and Soil*, 25(4) 746-756 (in Farsi).
- Zadesh Pargo, R., Mazandarani Zadeh, H. and Daneshkar Araste, P. (2015), Subsurface drainage system design to minimize construction costs with steady-state consideration, *Journal of Water Research in Agriculture*, 29(1) 117-128 (in Farsi).
- Ritzema, H. P., Nijland, H. J. and Croon, F. W., (2006), Subsurface drainage practices: From manual installation to large scale implementation, *Agricultural water management*, 86(1-2) 60- 71.
- Samipour, F., Mohammadi, K., Mahdian, M.H. and Naseri, A.A., (2011), Evaluating DRAINMOD and SWAP drainage models in determining optimal depth and spacing using crop yield performance and drainage effluent, *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 3(4) 375-386 (in Farsi).
- Soleimaninanadegani, M., Parsinejad, M. and Noori, H., (2013), Estimating subsurface drainage network installation cost (A case study: Behshahr), *Watershed management research*, 26(1) 34-41 (in Farsi).
- Nazari, B., Liaghat, A., Parsinejad, M. and Naseri, A., (2008), Optimization of Drainage Depth Based on the Economical and Environmental Aspects, *5th workshop on Drainage and Environmental Engineering*, (in Farsi).
- Mazandarani Zadeh H., (2016), Drainage system design by NSGA-II multi-objective algorithm using economic and environmental approach, *journal of Iran-Water Resources Research*, 12(3) 142-152 (in Farsi).
- Bi, W., Dandy, G.C. and Maier H.R., (2015), Improved genetic algorithm optimization of water distribution system design by incorporating domain knowledge, *Environmental Modelling & Software*, 69 370-381.
- Marques, J.C.R., Cunha, M.C. and Savic, D., (2015), Multi-objective optimization of water distribution systems based on a real options approach, *Environmental Modelling & Software*, 63 1-13.
- Pazira, E. and Homae, M. (2010), Salt leaching efficiency of subsurface drainage system at presence of diffusing saline water table boundary, *17th World Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR)*, Quebec City, Canada.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D. and Vecchi, M. P., (1983), Optimization by simulated annealing, *Science*, 220(4598), 671-680.
- Bandyopadhyay, S., Saha, S., Maulik, U. and Deb, K., (2008), A simulated annealing-based multi-objective optimization algorithm: AMOSA, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 12(3) 269-283.
- Salazar, R., Szidarovszky, F. and Coppola E. Jr., (2007), Application of game theory for a groundwater conflict in Mexico, *Journal of Environmental Management*, 84(4) 560-571.
- Harsanyi, J.C. and Selten, R., (1972), A generalized Nash solution for two-person bargaining games

- with incomplete information, *Journal of Management Science*, 18(2) 80-106.
- Kalai, E. and Smorodinsky, M., (1975), Other solutions to Nash's Bargaining problem, *Econometrica*, 43 513-518.
- Anbarchi, N., (1993), Noncooperative foundations of the area monotonic solution, *Quarterly Journal of*

- Economics*, 108 245-258.
- Rajab zadeh, F., Pazira, E. and Mahdian M.H., (2011), Studies on appropriate and an empirical model for salt leaching of Saline-Sodic soils of central part of Khuzestan province, *Journal of Water and Soil Conservation*, 18(3) 61-84.