تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵
Volume 12, No. 3, Fall 2016 (IR-WRR)
۱۴۲-۱۵۲

طراحی سیستم زهکشی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II با رویکرد اقتصادی – زیست محیطی

حامد مازندرانی‌زاده[۱*]

چکیده

کنترل شوری و رفع ماناب از مهمترین دلایل انجام عملیات زهکشی در زمین‌های کشاورزی می باشد و زهکشی جزء غیر قابل تفکیک کشاورزی فاریاب در بسیاری از نقاط ایران به حساب می‌آید. تخلیه زه آب خارج شده به محیط زیست از مهمترین عوارض به کارگیری زهکش‌ها می‌باشد، به گونه‌ای که به واسطه شوری خاک در بسیاری از نقاط کشور از جمله اراضی استان خوزستان، آثار مخرب زیست محیطی تخلیه زه آب مشاهده می‌شود. از آنجا که کاهش عوارض زیست محیطی منجر به افزایش هزینه‌های اجرایی خواهد شد، هدف از انجام این مطالعه ارائه مدلی به منظور تعیین متغیرهای طراحی زهکش شامل قطر، عمق و فاصله نصب لوله‌ها به گونه ای است که ضمن توجه به محدودیتهای هیدرولیکی، طراحی زهکش دربرگیرنده اهداف اقتصادی (کاهش هزینه‌های اجرایی) و زیست محیطی (افزایش کیفیت زه آب خروجی) به صورت توام باشد. با توجه به تفاوت ذاتی این دو هدف، باید از روش بهینه‌سازی چند هدفه استفاده شود. روشهای بهینه سازی تکاملی، ابزاری قدرتمند در حل مسائل بهینه سازی از جمله مسائل چند هدفه می‌باشند. به این منظور از روش بهینه سازی NSGA-II که روشی بر پایه GA و مختص حل مسائل چند هدفه می‌باشد، استفاده شده است. همچنین برای اعمال مدل پیشنهادی، اطلاعات شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش هزینه‌های اجرایی و کاهش عمق نصب می‌توان به کیفیت بهتر زه آب خروجی دست یافت، به طوری که با ۱۰۰٪ افزایش هزینه اجرایی، ناشی از تغییر عمق نصب زهکش، ۵۰٪ غلظت شوری زه آب خروجی بهبود می‌یابد. همچنین نتایج نشان می‌دهد انتخاب عمق نصب بین ۱/۳ تا ۱/۸، فاصله ۳۰ تا ۸۰ متر و قطر ۰/۱ متر برای لوله زهکش، منجر به تحقق هم زمان هر دو هدف اقتصادی و زیست محیطی و حصول توسعه پایدار در منطقه طرح خواهد شد.

کلمات کلیدی: الگوریتم ژنتیک، کشت و صنعت، نیشکر، هزینه اجرا، محیط زیست، پارامترهای طراحی

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۳/۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۵/۲۷

۱- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
*- نویسنده مسئول

Drainage System Design by NSGA-II Multi-Objective Algorithm using Economic and Environmental Approach

H. Mazandarani Zadeh[1*]

Abstract

Salinity control and water logging prevention are among the most important purposes of draining in agricultural lands. Accordingly, drainage is considered as an inseparable part of the irrigated agriculture in many areas of Iran. The major problem of drainage is the discharge of drain water into the environment. Devastating environmental impacts are consequently seen due to soil salinity in many parts of the country, especially in Khuzestan province. Since the reduction of environmental impact leads to increase in construction costs, the aim of this study is to present a model to define the design parameters, including diameter, depth, and distance, that not only meets the economic objective (construction costs) but also addresses the environmental issues (increase the quality of discharged drain water). Due to different nature of economic and environmental objectives, multi objective model should be employed. Evolutionary optimization methods are powerful tools to solve multi objective optimization problem. For this purpose NSGA II, based on GA and specified for multi objective problem, was employed in this study. To apply the proposed model Selman Farsi agro-industry was chosen as a case study. Results showed that better quality of discharged drain water could be achieved by increasing construction costs and reduction of installation depth. A %100 increase in construction costs due to change in installation depth could result in a %50 improvement in discharged drain water salinity. Also results showed that both economic and environmental goals, along with sustainable development, will be achieved simultaneously for the pipes placed in depthes between 1.3 and 1.8, distanced between 30 and 80 meters, and 0.1 in diameter.

Keywords: GA, Agro-Industry, Sugarcane, Construction cost, Environment, Design parameters

Received: May 29, 2016
Accepted: August 17, 2016

1- Assistant Professor, Water Sciences and Engineering Department, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

رشد جمعیت و نیاز روز افزون به تولید مواد غذایی منجر به افزایش تقاضا برای اراضی مناسب کشت آبی شده است. در مناطق خشک و نیمه خشکی مانند ایران، شوری خاک و ماندابی شدن آب از مهمترین محدودیتهای استفاده از اراضی برای کشاورزی می‌باشد که باید با انجام عملیات زهکشی وضعیت خاک را به وضعیت قابل کشت تبدیل نمود. به این ترتیب در بسیاری از مناطق مانند اراضی استان خوزستان که در آنها خاک فاقد خاصیت زهکش طبیعی است، رهایی از شوری خاک یکی از اولویتهای بخش کشاورزی می‌باشد. از طرف دیگر هر چند که انجام عملیت زهکشی اجتناب ناپذیر است اما تخلیه زه آب به محیط زیست باعث بروز مشکلات زیست محیطی دیگری می‌شود، به گونه‌ای که امروزه مدیریت زه آب تبدیل به چالشی بزرگ برای مناطق دارای زمینهای زهکشی شده است.

تلفات نفوذ عمقی در اثر پایین بودن راندمان آبیاری و عملیات آبشویی از مهمترین منابع ایجاد زه آب می باشند. در گذشته سیستم‌های زهکشی صرفاً به منظور کنترل سطح ایستابی طراحی می‌شدند، در تعریف امروزی زهکشی عبارت از مدیریت سفره آب زیرزمینی کم عمق، نگهداشت، دفع آب و مدیریت کیفیت آب با توجه به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی و حفظ محیط زیست می‌باشد. پارامترهای عمق، قطر و فاصله نصب لوله سه متغیر اساسی طراحی شبکه‌های زهکشی می باشد، که با توجه به هدف طراحی می توان ترکیبات مختلفی از آنها را پیشنهاد نمود. در گذشته ترکیب این سه پارامتر به گونه ای تعیین می شد که منجر به حداقل هزینه اجرایی شود. اما به تدریج با آشکار شدن نتایج حاصل از چنین تفکری و لطمات آن بر محیط زیست، بازنگری در اهداف طراحی مطرح گردید به نحوی که در کنار اهداف اقتصادی، اهداف زیست محیطی نیز مورد توجه قرارگرفت. بر اساس تحقیق Shao et al. (2012) سیستم زهکشی مناسب، سیستمی است که نه تنها شوری خاک را کاهش و بازده محصول را افزایش دهد، بلکه به مسائل اقتصادی اجرای طرح و موضوعات زیست محیطی تخلیه زه آب هم زمان توجه نماید.

تاکنون محققین زیادی از جمله Pazira and Hoomaee (2010) و Sotodehnia et al. (2014) در خصوص رابطه میان عمق نصب زهکش و غلظت شوری زه آب خروجی به تحقیق پرداخته‌اند. نتایج اغلب مطالعات نشان می‌دهد با افزایش عمق نصب زهکش، شوری زه آب خروجی افزایش می‌یابد. Hornbuckle et al. (2007) نشان داد شوری زه آب خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق دو متری بیش از شوری زه آب خارج شده از زهکش‌هایی است که در عمق ۱/۷ متری نصب شده‌اند می‌باشد. تحقیق دیگری که توسط Christen and Skehan (2001) انجام شد نشان می‌دهد زهکشهای کم عمق آب آبیاری کمتری را نسبت به زهکشهای عمیق تخلیه می کنند، بنابراین می توانند تلفات آبیاری را کاهش دهند. همچنین این گونه زهکشها دارای شوری زه آب کمتری هستند و بار نمک را تا حدود ۹۵٪ در مقایسه با زهکشهای عمیق کاهش می دهند. همچنین Razi et al. (2012) با بررسی تاثیر عمق نصب زهکش بر شوری زه آب خروجی از نیمرخ خاک رس سیلتی در شرایط آزمایشگاهی نشان داد که بیشینه هدایت الکتریکی آب خروجی با افزایش عمق نصب زهکشها افزایش می یابد. بهینه سازی سیستم زهکشی از منظر اقتصادی تاکنون مورد توجه بسیاری از محققین از جمله Bhagu and Ghanshyam (2010) و Zadesh et al. (2015) قرار گرفته است. نتایج اغلب تحقیقات نشان داده است که افزایش عمق نصب زهکش باعث کاهش هزینه‌ای اجرای زهکش می‌شود. نتایج تحقیق Soleimani et al. (2013) در کشور ایران نشان می‌دهد که بطور کلی با افزایش عمق نصب لوله زهکش، هزینه در واحد سطح کاهش می یابد به گونه‌ای که در عمقهای بیشتر از ۱/۶ متر این کاهش هزینه با شدت بیشتری اتفاق می افتد.

Nazari et al (2008) با استفاده از مدل شبیه‌سازی DrainMod، به بررسی عملکرد محصول نیشکر، بار نمک زه آب خروجی و اثر عمق زهکش بر کارایی اقتصادی و مشکلات زیست محیطی اقدام نمود. در این تحقیق، به منظور تلفیق موضوعات زیست محیطی و اقتصادی اقدام به معادل سازی پیامدهای زیست محیطی با ارزش پولی ناشی از مشکل به وجود آمده شده است. به این ترتیب عمق بهینه نصب با استفاده از مدل تک هدفه اقتصادی (تابع هدف برابر حاصل جمع هزینه اجرا و هزینه‌های محیطزیستی معادل سازی شده) محاسبه گردید. با توجه به استفاده از مدل بهینه‌سازی تک هدفه در مدل پیشنهادی ایشان، اهداف کیفی زیست محیطی به اهداف کمی تبدیل شده است. به عبارت دیگر معادل پولی پیامدهای زیست محیطی با هزینه اجرای سیستم زهکش جمع شده و هدف مدل کاهش جمع ریالی هزینه‌های زیست محیطی و هزینه‌ای اجرایی بوده است. در این تحقیق نحوه تبدیل اهداف کیفی به کمی سلیقه‌ای بوده، به نحوی که اگر نحوه تبدیل و ارزش‌گذاری اهداف کیفی تغییر یابد نتایج حاصل دگرگون خواهد شد.

در تحقیق حاضر کوشش شده است ضمن شناخت مولفه‌های اثر گذار بر هزینه‌های اقتصادی طرحهای زهکشی، به محاسبه شوری زه‌آب تخلیه شده به محیط زیست پرداخته شود و با استفاده از مدل بهینه‌سازی چند هدفه NSGA-II، بهینه‌سازی پارامترهای طراحی زهکش، هم زمان بر اساس اهداف اقتصادی و زیست محیطی انجام پذیرد. از آنجا که در مدل پیشنهادی، به تفاوت ماهیت اهداف اقتصادی و زیست محیطی و جمع ناپذیر بودن آنها توجه شده است، روش بهینه سازی چند هدفه مورد توجه واقع شده، به گونه‌ای که در مدل پیشنهادی نیازی به جمع ریاضی آثار زیست محیطی و اقتصادی نمی باشد و نتایج مدل تحت تأثیر نظرات و سلایق کاربران و مدیران طرح‌ها قرار نخواهد گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر با فرض ایجاد شرایط ماندگار در وضعیت سطح آب زیرزمینی از رابطه هوخهات استفاده شده است. به منظور به دست آوردن پارامترهای طراحی، در ابتدا عمق و قطر زهکشهای زیر زمینی توسط الگوریتم ژنتیک حدس زده می‌شوند و سپس با استفاده از رابطه هوخهات (۱)، فاصله زهکشها تعیین می گردد.

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

به طوری که S فاصله زهکشها از یکدیگر بر حسب متر، k_a و k_b به ترتیب هدایت هیدرولیکی اشباع لایه بالا و پایین محل نصب زهکش بر حسب متر در روز، d_e عمق معادل فاصله سطح زهکش تا لایه غیر قابل نفوذ بر حسب متر، h بار آبی بر حسب متر و q ضریب زهکشی بر حسب متر در روز می باشد. به منظور محاسبه عمق معادل در فرمول هوخهات از رابطه (۲) استفاده می‌شود.

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

$$d_e=\frac{\pi S}{8\ln\frac{S}{u}} \qquad if\ D\geq\frac{1}{4}S$$

در رابطه فوق D فاصله عمودی عمق نصب زهکش تا لایه نفوذ ناپذیر بر حسب متر و u محیط خیس شده بر حسب متر می باشد. پس از محاسبه پارمترهای زهکشی، قطر محاسبه شده مجدداً کنترل می شود:

$$Q=q\,A \qquad (۳)$$

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

$$Q_{Design}\geq 1.33Q \qquad (۵)$$

در روابط فوق، A مساحت تحت پوشش توسط یک خط زهکش بر حسب متر مربع، Q دبی زهکش بر حسب مترمکعب بر ثانیه، i شیب خط لوله برحسب اعشار، d قطر لوله برحسب متر و Q_{Design} دبی طرح می‌باشد. بر اساس تحقیق Smedema et al. (2004) با توجه به رسوب املاح و کاهش سطح مقطع مفید لوله در هنگام بهره برداری، مقدار دبی قابل عبور لوله ۳۳٪ بیش از دبی مورد نیاز تعیین می‌شود (رابطه ۵).

مدل بهینه سازی چند هدفه NSGA-II:

بر اساس تعریف Abraham et al. (2005) بهینه‌سازی عبارت از کمینه یا بیشینه نمودن یک و یا چند هدف، با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از محدودیت‌ها می‌باشد. اجزای تشکیل دهنده مسائل بهینه‌سازی شامل تابع هدف، متغیرهای تصمیم‌گیری و قیود مسئله می باشد. هنگامی که مسئله‌ای از بیش از یک هدف تشکیل شده باشد، باید از روش بهینه‌سازی چند هدفه استفاده کرد. شکل کلی مسائل بهینه‌سازی چند هدفه به صورت زیر می باشد:

(۶)

$$\text{Minimize/Maximize}\ \ f_i(x) \qquad i=1,2,3,\ldots\ldots M$$
$$\text{Subject to :}$$
$$h_l(x)=0 \qquad l=1,2,3,\ldots.E_1$$
$$g_k(x)\leq 0 \qquad k=1,2,3,\ldots..E_2$$

به طوری که در آن x بردار جواب، $f_i(x)$ تابع هدف iام، M، E_1 و E_2 به ترتیب تعداد اهداف، تعداد قیدهای مساوی و تعداد قیدهای نامساوی، $h_l(x)$ و $g_k(x)$ به ترتیب قیدهای مساوی و نامساوی مسئله می‌باشند. در این روش، بر خلاف بهینه‌سازی تک هدفه جواب بهینه یکتا وجود ندارد، بلکه مجموعه ای از جوابها ایجاد می شود که هیچ یک بر دیگری ارجح (مسلط) نبوده و این گروه جوابهای بهینه پارتو نامیده می شوند. مدل NSGA یک روش بهینه سازی چند هدفه بر مبنای ژنتیک الگوریتم، مشتمل بر سه عملکرد اساسی انتخاب۱، ازدواج۲ و جهش۳، می باشد. شکل ابتدایی این روش در سال ۲۰۰۱ توسط Deb 2001 ارائه گردید، سپس درسال ۲۰۰۲ مدل NSGA-II توسط Deb et al. 2002 به منظور رفع نواقص مدل اولیه ارائه گردید. در این روش از دو مفهوم تسلط جوابها بر یکدیگر و فاصله ازدحامی استفاده شده است.

الف- تسلط جوابها بر یکدیگر: اگر x_1 و x_2 دو بردار جواب از مسئله بهینه سازی M هدفه باشند، x_1 بر x_2 مسلط است اگر و تنها اگر در تمام اهداف بهتر یا مساوی با x_2 باشد و در حداقل یک هدف از آن بهتر باشد.

$$\begin{aligned} &\left(f_i(x_1) \geq f_i(x_2) \quad \forall\, i=1,2,3,.....M\right) \\ &and \quad \left(f_i(x_1) > f_i(x_2)\right) \quad \exists\, i=1,2,3,.....M \end{aligned} \qquad (۷)$$

با استفاده از این رابطه و بر حسب اینکه جواب مورد نظر توسط چه تعداد جواب دیگر مغلوب شده باشند، جوابها به جبهه‌های پارتو۴ ۱، ۲ و ... خوشه بندی می‌شوند. به نحوی که جوابهای واقع بر جبهه اول توسط هیچ جواب دیگری مغلوب نشده و با یکدیگر نامغلوب می‌باشند.

ب- فاصله ازدحامی: بر اساس تعریف Deb et al. (2002) فاصله ی هر کدام از جواب‌های مورد نظر با نزدیکترین همسایگانش توسط این پارامتر نشان داده می‌شود. پارامتر فاصله ازدحامی برای هر یک از اعضای گروه محاسبه می‌شود و تراکم جواب‌ها را اطراف یک نقطه خاص در جمعیت محاسبه می‌کند. در واقع برای محاسبه تراکم جواب‌ها اطراف یک نقطه خاص در جمعیت، میانگین فاصله‌ی دو نقطه از دو سمت و در امتداد هرکدام از اهداف گرفته می‌شود. به منظور بدست آوردن فاصله ازدحامی از رابطه (۸) استفاده می‌گردد که این مقدار برای ابتدا و انتهای جبهه معادل بی نهایت در نظر گرفته می‌شود.

$$cd_k(x_i) = \frac{f_k(x_{i+1}) - f_k(x_{i-1})}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} \qquad (۸)$$

$$cd(x_i) = \sum_{k=1}^{M} cd_k(x_i) \qquad (۹)$$

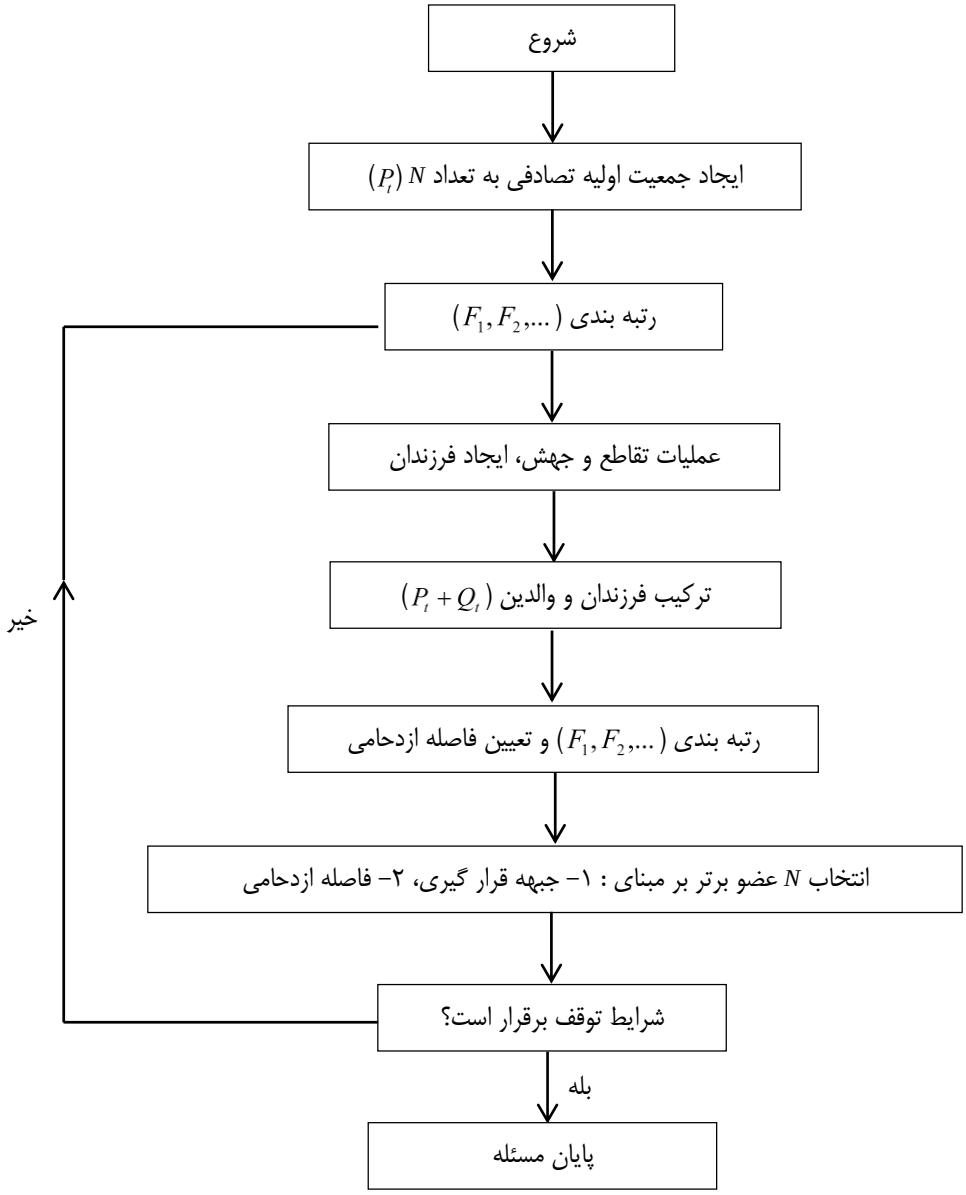
به طوری که $cd_k(x_i)$ فاصله ازدحامی جواب x_i به ازای تابع هدف kام و $cd(x_i)$ کل فاصله ازدحامی جواب x_i می‌باشد. همچنین $f_k^{\max}$ و $f_k^{\min}$ به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار تابع هدف kام می‌باشد. در روش NSGA-II در ابتدا به صورت تصادفی یک جمعیت اولیه از والدین به تعداد N تولید می‌شود که آن را P_t می‌نامیم. جمعیت تولید شده بر طبق مفهوم سلطه گرایی (رابطه ۷) به جبهه‌های گوناگون $(F_1, F_2, \ldots)$ رتبه‌بندی شده، سپس با استفاده از روش مسابقه۵ تعداد N عدد جواب با برازش بیشتر، وارد حوضچه ازدواج می‌شوند. پس از انجام ازدواج، نسل بعدی (Q_t) ایجاد می شود. حال به منظور برقراری خاصیت نخبه گرایی، والدین و فرزندان مخلوط شده $(P_t + Q_t)$ و یک بار دیگر بر طبق مفهوم سلطه‌گرایی در جبهه‌های مختلف خوشه‌بندی می‌شوند. از بین $2N$ جواب موجود، تعداد N جواب برتر آنها به ترتیب از بین جبهه‌های اولیه و سپس از بین جوابهای با فاصله ازدحامی بیشتر انتخاب می‌شود، N جواب به دست آمده، نسل بعدی جوابها (P_{t+1}) می‌باشند. این عملیات تا رسیدن به شرط توقف مسئله تکرار خواهد شد. در نهایت جوابهای واقع بر جبهه نخست، جوابهای نهایی مسئله می‌باشند. شکل ۱ فلوچارت مدل NSGA-II را نشان می‌دهد.

مدل پیشنهادی اقتصادی- زیست محیطی:

مدل پیشنهادی باید از قابلیت بهینه سازی هم زمان دو هدف اقتصادی و زیست محیطی برخوردار باشد. هدف اقتصادی این مطالعه عبارت از حداقل نمودن هزینه اجرای سیستم زهکشی و هدف زیست محیطی عبارت از حداکثر نمودن تفاضل غلظت مجاز زه آب تخلیه شده به رودخانه و غلظت زه آب خروجی از واحد کشت و صنعت می باشد. در این مدل کاهش شوری زه آب خروجی تا حدی مورد نظر است که زه آب تخلیه شده از زهکش پس از ترکیب با آب رودخانه همچنان مناسب برای کشت در پایین دست باشد. رابطه (۱۰) به بیان مدل اقتصادی- زیست محیطی پیشنهادی می پردازد.

$$\begin{aligned} &\text{Min } Cost \quad \& \quad \text{Max } \Delta C \\ &\text{Subject to :} \\ &\Delta C = C_{Target} - C_{Drain} \qquad (۱۰) \\ &Cost = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \\ &C_1 = C_{1a} + C_{1b} + C_{1c} + C_{1d} + C_{1e} \\ &C_2 = C_{2a} + C_{2b} + C_{2c} + C_{2d} + C_{2e} \end{aligned}$$

در رابطه بالا منظور از $Cost$ هزینه کل می باشد که شامل C_4 ، C_3 ، C_2 ، C_1 به ترتیب هزینه اجرای لترال، کل هزینه اجرای کلکتور، هزینه مربوط به منهول و هزینه احداث جاده سرویس می‌باشد. بر اساس Zadesh et al. 2015 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 متر مکعب فیلتر شنی دانه بندی 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 کلکتـــور، C_{1e} و s هزینه‌های مربوط به اضافه بها نظیـــر



شکل ۱- فلوچارت مدل NSGA II

سختی کار در حفاری بیشتر از عمق ۲ متر و عمق نصب لوله در زیر سطح ایستابی به ترتیب برای یک متر لوله لترال و کلکتور می‌باشند. هزینه اجرای کل منهول نیز شامل هزینه اجرای یک منهول در تعداد منهول‌های مورد نیاز می‌باشد. در رابطه (۱۰) منظور از C_{Target} حد مجاز شوری زه آبی است که تخلیه آن به رودخانه سبب تخریب و آلودگی پایین دست نشود و C_{Drain}، شوری زه آب خروجی از سیستم می‌باشد. محاسبه C_{Target} با داشتن دبی رودخانه (Q_{River})، شوری رودخانه (C_{River})، دبی زه آب ورودی به رودخانه (Q_{Drain}) و حد شوری مجاز آب در پایین دست $(\overline{C})$ از طریق رابطه جرمی زیر قابل محاسبه است:

(۱۱)
$$C_{River} \times Q_{River} + C_{Target} \times Q_{Drain} = (Q_{River} + Q_{Drain}) \times \overline{C}$$

دبی زه آب خروجی برابر $Q_{Drain} = q \times A$ است. برای محاسبه C_{Drain} ابتدا از رابطه هوخهات مقدار qمحاسبه شده و سپس با استفاده ازرابطه زیر C_{Drain}محاسبه خواهد شد:

$$C_{Drain} \times q = C_{up} \times q_{up} + C_{down} \times q_{down} \quad (۱۲)$$

در رابطه فوق C_{up} و C_{down} به ترتیب غلظت آب ورودی از سطح بالا و پایین زهکش و q_{up} و q_{down} به ترتیب مقدار آب ورودی از سطح بالا و پایین زهکش می‌باشد. با ترکیب رابطه (۱۱) و (۱) شوری زه آب خروجی محاسبه خواهد شد:

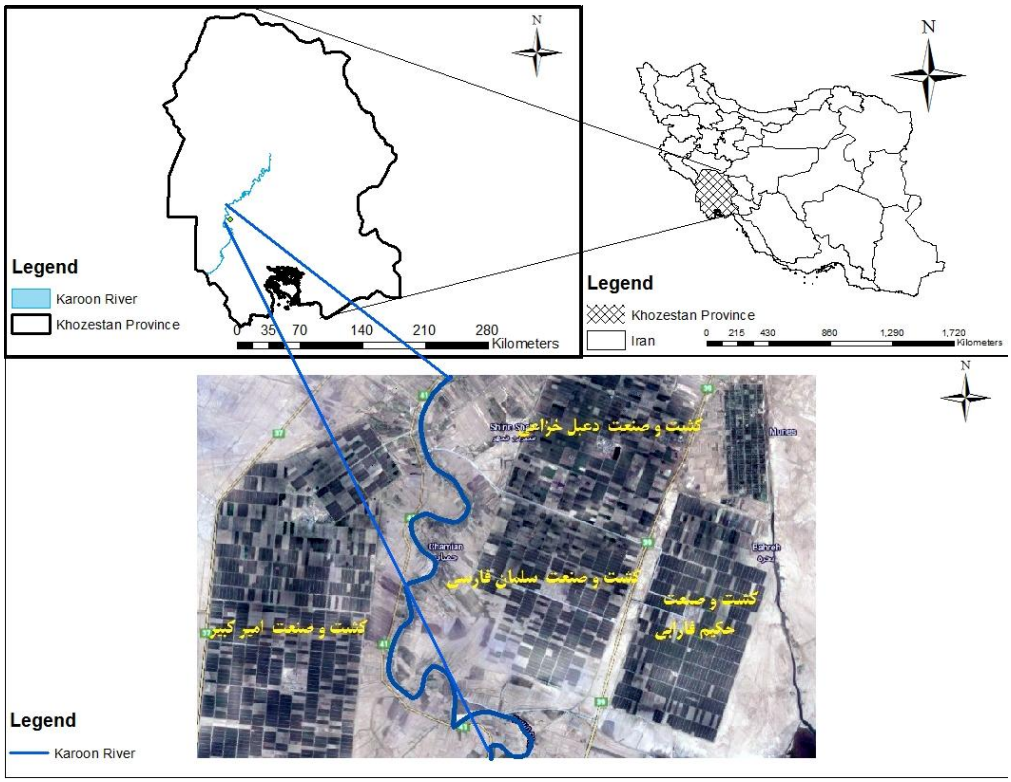
$$C_{Drain} = C_{up} \times \frac{\frac{4k_a h^2}{S^2}}{\frac{4k_a h^2 + 8k_b d_e h}{S^2}} + C_{down} \times \frac{\frac{8k_a d_e h}{S^2}}{\frac{4k_a h^2 + 8k_b d_e h}{S^2}} \quad (۱۳)$$

به این ترتیب شوری زه آب خروجی (C_{drain}) که در رابطه (۱۰) برای محاسبه ΔC به کاربر رفته است، قابل محاسبه می‌باشد.

مطالعه موردی:

به منظور اعمال مدل از اطلاعات ۵۰ هکتار، شامل دو واحد زراعی ۲۵ هکتاری از اراضی کشت و صنعت واحد سلمان فارسی استفاده شده است. واحد کشت و صنعت سلمان فارسی به مساحت ۷۵۰۰ هکتار، یکی از طرحهای هفت گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی در جنوبی ترین واحد تخصیص داده شده به واحدهای کشت و صنعت مستقر می باشد. 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 تامین آب مورد نیاز آبیاری مزارع نیشکر، رودخانه کارون است که در فاصله دو کیلومتری در غرب اراضی طرح قرار دارد. شکل ۲ موقعیت رودخانه کارون و شرکتهای کشت و صنعت را نمایش می دهد. اطلاعات پایه مطالعه موردی در جدول ۱ ارائه شده است. اطلاعات پایه شامل اطلاعات آبیاری، مشخصات آب آبیاری، مشخصات خاک و دبی رودخانه کارون می‌باشد. در این مطالعه پارامترهای طراحی به گونه ای محاسبه می‌شوند که زه‌آب خروجی پس از اختلاط با آب رودخانه‌ی کارون قابلیت استفاده در پایین دست برای آبیاری گیاهانی با مقاومت بیشتر به شوری را داشته باشد.

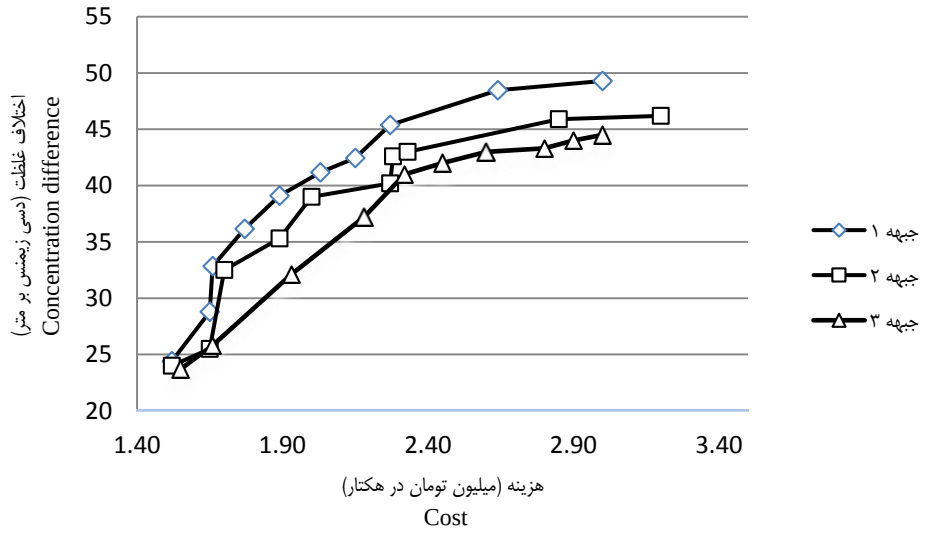
از آنجا که قطر لوله‌های لترال یکی از متغیرهای تصمیم گیری این تحقیق می باشد، به این منظور سه قطر متداول و موجود در بازار، قطرهای ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ میلیمتر به عنوان قطرهای قابل انتخاب به مدل معرفی شدند.



شکل ۲- موقعیت رودخانه کارون و شرکت‌های کشت و صنعت اطراف آن

جدول ۱- اطلاعات پایه واحد کشت و صنعت سلمان فارسی تنظیم جدول از راست

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	۴
عمق آب زیرزمینی سطح ایستابی قبل از اجرای سیستم زهکشی	m	۱/۵
عمق تثبیت سطح ایستابی	m	۱
کیفیت شوری آب آبیاری	$dS.m^{-1}$	۲/۵
کیفیت شوری آب زیرزمینی	$dS.m^{-1}$	۱۰۰-۵۰
حد شوری قابل قبول برای گیاهان پایین دست $(\bar{C})$	$dS.m^{-1}$	۵
حداقل دبی رودخانه کارون	$m^3.s^{-1}$	۱۵۰



شکل ۳- جوابهای واقع بر جبهه‌های پارتو یک، دو و سه با احتساب ضریب زهکشی ٦ میلیمتر بر روز

به عبارت دیگر فضای جواب برای قطر لوله‌های لترال شامل این سه قطر می باشد و از به وجود آمدن قطرهای غیر تجاری که در بازار وجود ندارند جلوگیری شده است.

نتایج و بحث

شکل ۳ نتایج حاصل از اجرای مدل را نشان می دهد. در این نمودار جوابهای مربوط به جبهه پارتو یک، دو و سه نمایش داده شده است. جوابهای واقع در جبهه پارتو سه تحت تسلط جبهه پارتو یک و دو می باشد. همچنین جوابهای جبهه پارتو دو تحت تسلط جبهه یک می باشد و جوابهای جبهه یک توسط هیچ جواب دیگری مغلوب نشده‌اند، به عبارت دیگر جواب بهینه نهایی مسئله، جوابهای واقع بر جبهه پارتو یک می‌باشند.

از آنجا که جوابهای واقع در جبهه پارتو یک، جواب نهایی مدل می باشد، مقادیر این جبهه پارتو در جدول ۲ ارائه گردیده است. در سه ستون اول این جدول، مقادیر عمق، قطر و فاصله بهینه محاسبه شده، ارائه شده است. ستون چهارم هزینه اجرا در هر هکتار، ستون پنجم شوری مجاز قابل تخلیه به رودخانه کارون، ستون ششم شوری خروجی، ستون هفتم تفاضل دو ستون شش و هفت و ستون آخر به محاسبه بار آلودگی خروجی از سیستم می‌پردازد. بر اساس نتایج، افزایش عمق نصب باعث کاهش هزینه‌های اجرایی شده است، به گونه ای که با افزایش عمق نصب از ۱/۲ به ۲/۳ متر، هزینه اجرا به نصف کاهش یافته است. در حالی که افزایش عمق نصب، اثر معکوس بر شوری زه آب خروجی داشته و شوری از ۲۶/۸۵ به ازای عمق نصب ۲/۳ به ۵۲/۵۱ دسی زیمنس بر متر به ازای عمق نصب ۲/۳ متر افزایش یافته است. به عبارت دیگر با افزایش عمق نصب تفاضل شوری خروجی و شوری قابل قبول خروجی، کاهش یافته است. نکته قابل توجه اینکه شوری زه‌آب خروجی (C_{Drain}) از ۷۵۰۰ هکتار اراضی نیشکر هیچگاه برابر ماکزیمم شوری (C_{Target})، نخواهد شد و همواره فاصله‌ای بین آن دو مقدار وجود دارد که بر اساس تابع هدف مدل هر چه فاصله آنها بیشتر باشد مطلوب تر می‌باشد.

براساس جدول زیر، شوری قابل تخلیه به رودخانه کارون (C_{Target}) از ۷۵۰۰ هکتار زمین زیر کشت به ازای تمام گزینه‌های طراحی عددی ثابت و برابر ۷۷ دسی زیمنس بر متر می‌باشد. زیرا بر اساس رابطه (۱۰)، حد مجاز شوری زه آب خروجی به عوامل محیطی طراحی شامل دبی رودخانه کارون (Q_{River})، غلظت رودخانه (C_{River})، دبی زه آب خروجی از کشت و صنعت (Q_{Drain}) و حد شوری مجاز آب در پایین دست پس از اختلاط با کارون ($\bar{C}$) بستگی دارد و هیچ یک از پارامترهای طراحی نظیر قطر، عمق و فاصله زهکش بر آن اثری ندارد، به این ترتیب شوری مجاز قابل تخلیه عددی ثابت می‌باشد.

همچنین همانگونه که از شکل ۳ مشاهده می شود، تعدادی جواب در ابتدا و انتهای جبهه قرار گرفته‌اند که آنها یا از لحاظ اقتصادی و یا از لحاظ زیست محیطی غالب هستند و این جوابها، جوابهایی هستند که در آنها صرفاً به یک جنبه از اهداف توجه شده است. به عنوان مثال کمترین هزینه، به ازای کمترین ΔC رخ داده است (ردیف نخست جدول ۲) و بالعکس بیشرین هزینه منجر به بهترین کیفیت زه آب خروجی شده است (ردیف آخر جدول ۲). در حالی که جوابهایی که دربین این دو جواب واقع شده‌اند، جوابهایی هستند که تواماً اهداف زیست محیطی و اقتصادی را رعایت نموده‌اند، به عبارت دیگر رعایت یکی منجر به نا دیده گرفتن دیگری نشده است. به این ترتیب به جز جوابهای ابتدا و انتهای جبهه، سایر جوابهای بهینه در عمقهای بین ۱/۲۵ تا ۲ متر قرار گرفته است. بنابراین عمقهای ۱/۴، ۱/۴۴، ۱/۵۶، ۱/۶۷ و ۱/۸ و ۲ متر با فواصل مشخص شده درجدول ۴ و با قطرهای ۰/۱ و ۰/۱۲۵ متر تعدادی از جوابهای موجود در جبهه پارتو در حد فاصل ابتدا و انتهای جبهه می باشد که با در نظر گرفتن هر دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی به دست آمده‌اند.

همچنین همان طور که در جدول بالا مشاهده می‌شود، در عمق‌های کم نصب، قطر ۰/۱ متر و در عمق بیشتر قطر ۰/۱۲۵ استفاده شده است، علت این موضوع را می‌توان به افزایش دبی، در اثر افزایش عمق و افزایش فاصله نصب لوله‌ها نسبت داد. همانگونه که از جدول فوق مشاهده می‌شود قطر ۰/۱۶۰ متر در هیچ از عمق‌های دفن مورد استفاده قرار نگرفته است. علت این موضوع را می‌توان به ظرفیت زیاد دبی عبوری از قطر ۰/۱۶۰ و عدم نیاز به آن و در نتیجه غیر اقتصادی آن ارتباط داد.

در ادامه این تحقیق، با توجه به اینکه یکی از مهمترین و تأثیرگذارترین فرضیات طراحی، ضریب زهکشی می‌باشد، اثر تغییر ضریب زهکشی بر جوابهای بهینه بررسی شده است. جدولهای ۳ تا ۵ به ترتیب نتایج جبهه پارتو یک را با فرض ضریب زهکشی ۳ و۴ و ۸ میلی متر بر روز نشان می دهند.

جوابهای ابتدایی و انتهایی این جدول‌ها، مربوط به جوابهایی است که منحصراً هدف اقتصادی یا زیست‌محیطی را برآورده نموده‌اند. به ازای ضریب زهکشی ۳ میلیمتر بر روز، به غیر از جواب‌های ابتدا و انتهای جبهه، سایر جوابها در عمق ۱/۲۵ تا ۱/۶۱ متر، فواصل ۳۹ تا ۶۲/۵ متر و لوله‌های با قطر ۰/۱ متر می‌باشند. با توجه به مقدار کم ضریب زهکشی، از لوله‌های با قطر ۰/۱ متر در تمام عمق‌ها استفاده شده است.

خروجی مدل با فرض ضریب زهکشی ۴ میلی متر بر روز درجدول ۴ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد عمق ۲/۶۲ با فاصله نصب ۸۳/۳۴ و عمق ۱/۲ متر با فاصله ۲۹/۵ متر، جوابهای ابتدایی و انتهایی جبهه پارتو می‌باشند و سایر جوابهای به دست آمده در این جبهه در عمق‌های بین ۱/۲۵ تا ۲/۱ متر با فواصل ۳۲/۷ تا ۷۱/۷ و قطرهای ۰/۱ و ۰/۱۲۵ متر اتفاق افتاده است. تمام جواب‌های به دست آمده در جبهه پارتو یک، جوابهای‌های بهینه می باشند و بسته به شرایط هر یک از آن‌ها را می‌توان انتخاب نمود. همچنین برای عمق نصب بیش از ۱/۸ متر استفاده از قطر ۰/۱۲۵ متر انتخاب شده است.

جدول ۵ خروجی مدل را با ضریب زهکشی ۸ میلیمتر بر روز را نشان می‌دهند. ملاحظه می‌گردد پارامترهای بهینه جبهه پارتو در اعماق بین ۱/۲ تا ۱/۹ متربافواصل ۱۹/۳ تا ۴۵/۵ متر به دست آمده است، همانگونه که ملاحظه می‌گردد به دلیل افزایش ضریب زهکشی در این حالت و در نتیجه افزایش دبی خروجی، برای عمق نصب بیش از ۱/۵ متر لوله با قطر ۰/۱۲۵ انتخاب شده است.

جدول ۲- نتایج به دست آمده بر اساس هدفهای اقتصادی- زیست محیطی با احتساب ضریب زهکشی ٦ میلی متر بر روز

عمق (متر)	قطر (متر)	فاصله (متر)	هزینه (میلیون تومان درهکتار)	C_{Target} $(dS.m^{-1})$	C_{Drain} $(dS.m^{-1})$	ΔC $(dS.m^{-1})$	$Load$ $(kg/day.ha)$
۲/۳۲	۰/۱۲۵	۶۲/۵۸	۱/۵۲	۷۷/۰۰	۵۲/۵۱	۲۴/۴۹	۲۵۲۰/۴۴
۲/۰۱	۰/۱۲۵	۵۵/۷۰	۱/۶۵	۷۷/۰۰	۴۸/۰۲	۲۸/۹۸	۲۳۰۵/۰۸
۱/۸۱	۰/۱۲۵	۵۰/۱۳	۱/۶۶	۷۷/۰۰	۴۳/۹۷	۳۳/۰۳	۲۱۱۰/۴۲
۱/۶۷	۰/۱۲۵	۴۵/۵۹	۱/۷۷	۷۷/۰۰	۴۰/۶۴	۳۶/۳۶	۱۹۵۰/۸۰
۱/۵۶	۰/۱۲۵	۴۱/۶۸	۱/۸۹	۷۷/۰۰	۳۷/۸۷	۳۹/۱۳	۱۸۱۷/۵۴
۱/۴۴	۰/۱	۳۶/۴۲	۲/۰۳	۷۷/۰۰	۳۴/۴۳	۴۲/۵۷	۱۶۵۲/۷۳
۱/۳۹	۰/۱	۳۴/۰۹	۲/۱۵	۷۷/۰۰	۳۲/۹۶	۴۴/۰۴	۱۵۸۱/۹۷
۱/۳۴	۰/۱	۳۱/۳۸	۲/۲۷	۷۷/۰۰	۳۱/۳۲	۴۵/۶۸	۱۵۰۳/۴۴
۱/۲۵	۰/۱	۲۶/۳۲	۲/۶۴	۷۷/۰۰	۲۸/۵۱	۴۸/۴۹	۱۳۶۸/۳۹
۱/۲۰	۰/۱	۲۳/۰۰	۳/۰۰	۷۷/۰۰	۲۶/۸۵	۵۰/۱۵	۱۲۸۸/۵۶

جدول ۳- نتایج به دست آمده بر اساس هدفهای اقتصادی- زیست محیطی با احتساب ضریب زهکشی ۳ میلی متر بر روز

عمق (متر)	قطر (متر)	فاصله (متر)	هزینه (میلیون تومان درهکتار)	ΔC $(dS.m^{-1})$
۱/۸	۰/۱	۷۱/۶۴	۱/۲	۱۰۴/۹۲
۱/۶۱	۰/۱	۶۲/۵۵	۱/۳	۱۰۹/۷۲
۱/۵	۰/۱	۵۶/۵۰	۱/۴۲	۱۱۲/۷۶
۱/۴۲	۰/۱	۵۱/۴۲	۱/۵۴	۱۷/۱۱۵
۱/۳	۰/۱	۴۲/۹۰	۱/۷۸	۱۱۸/۸۵
۱/۲	۰/۱	۳۴/۶۱	۲/۱۵	۱۲۱/۹۶

جدول ٤- نتایج به دست آمده بر اساس هدفهای اقتصادی- زیست محیطی با احتساب ضریب زهکشی ٤ میلی متر بر روز

عمق (متر)	قطر (متر)	فاصله (متر)	هزینه (میلیون تومان درهکتار)	ΔC $(dS.m^{-1})$
۲/۶۲	۰/۱۲۵	۸۳/۳۴	۱/۲۳	۵۸/۶۸
۲/۱۱	۰/۱۲۵	۷۱/۷۰	۱/۳۶	۶۳/۰۸
۱/۸۳	۰/۱۲۵	۶۲/۸۰	۱/۴۰	۶۸/۳۸
۱/۵۴	۰/۱	۵۰/۵۰	۱/۵۴	۵۷/۶۷
۱/۳۱	۰/۱	۳۷/۱۲	۲/۰۳	۸۲/۶۵
۱/۲	۰/۱	۲۹/۴۰	۲/۵۱	۸۵/۹۸

جدول ٥- نتایج به دست آمده بر اساس هدفهای اقتصادی- زیست محیطی با احتساب ضریب زهکشی ٨ میلی متر بر روز

عمق (متر)	قطر (متر)	فاصله (متر)	هزینه (میلیون تومان درهکتار)	ΔC $(dS.m^{-1})$
۱/۹	۰/۱۲۵	۴۵/۴۶	۱/۸	۱۳/۱۷
۱/۶۸	۰/۱۲۵	۳۹/۳۱	۲/۰۴	۱۸/۲۹
۱/۵۱	۰/۱۲۵	۳۳/۵۹	۲/۲۸	۲۲/۸۶
۱/۳۱	۰/۱	۲۵/۱۷	۲/۷۶	۲۸/۷۴
۱/۲۷	۰/۱	۲۳/۴۲	۳/۰۰	۲۹/۸۵
۱/۲۰	۰/۱	۱۹/۳۲	۳/۴۹	۳۲/۲۵

بررسی نتایج نشان می‌دهد با تغییر ضریب زهکشی از ۳ به ۸ میلیمتر بر روز، عمق بهینه نصب به جز تعداد اندکی از جوابها، در بازه ۱/۳ تا ۱/۸ متر واقع شده است و آن تعداد اندک نیز که در این بازه قرار نگرفته‌اند، جوابهایی بوده‌اند که به ارضا هر دو جنبه زیست محیطی و اقتصادی به صورت توأمان نپرداخته‌اند و در آنها یکی از هدف‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. به این ترتیب با در نظر گرفتن هر دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی به صورت توام، عمق‌های نصب بین ۱/۳ تا ۱/۸ متر در سیستم زهکشی زیرزمینی منطقه مورد مطالعه قابل توصیه است.

همچنین نتایج بالا نشان می دهد استفاده از ضریب زهکشی کمتر، منجر به انتشار بار آلودگی کمتری خواهد شد و خسارت کمتری به محیط زیست وارد می سازد. بنابر این هرچه از ضریب زهکشی کمتری در طراحی‌ها استفاده شود، طرح هم از نظر اقتصادی و هم از نظر زیست محیطی از شرایط بهتری در مقایسه با طرحهای با ضریب زهکشی بیشتر برخوردار است. به طوری که در ضرایب زهکشی زیاد، علاوه بر هزینه‌های زیاد اجرایی، شاهد انتشار بار آلودگی بیشتری از سیستم زهکشی به محیط زیست می‌باشیم.

خلاصه و جمع‌بندی

هدف از این مطالعه ارائه یک مدل بهینه‌سازی اقتصادی– زیست محیطی دو هدفه به منظور محاسبه پارامترهای طراحی زهکش شامل قطر، فاصله و عمق نصب زهکش می باشد، به گونه ای که علاوه بر کاهش هزینه‌های اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی، مشکلات ناشی از مسائل زیست محیطی ناشی از تخلیه زه آب به محیط زیست نیز همزمان مورد توجه قرار گیرد. به عبارت دیگر متغیرهای عمق، قطر و فاصله نصب لوله‌های زهکش به گونه ای محاسبه شود که ترکیب آنها منجر به کاهش شوری زه آب خروجی و همچنین کاهش هزینه اجرا شود. از آنجا که ماهیت دو هدف اقتصادی و زیست‌محیطی با یکدیگر متفاوت و غیر قابل جمع می‌باشند روش بهینه‌سازی چند هدفه مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه روش بهینه سازی چند هدفه NSGA-II که برای حل چنین مسائلی به کار می‌رود استفاده شده است و به منظور به کارگیری مدل پیشنهادی، اطلاعات شرکت کشت و صنعت سلمان

فارسی واقع در استان خوزستان، به عنوان مطالعه موردی انتخاب شد. نتایج نشان داد که رعایت عمق نصب ۱/۳ تا ۱/۸ متر در اغلب موارد باعث حفظ هر دو دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی خواهد شد. همچنین نتایج نشان داد که برآورد دقیق ضریب زهکشی نه تنها بر روی هزینه‌های اجرا تأثیر زیادی خواهد داشت، بلکه استفاده از ضرایب زهکشی کمتر، منجر به حفظ محیط زیست و بروز صدمات کمتری به آن خواهد شد. از مهمترین فرضیات به کار رفته در این تحقیق، فرض برقراری جریان ماندگار می‌باشد که به نظر می‌رسد در صورت داشتن اطلاعات کافی از مطالعه موردی، استفاده از مدل غیر ماندگار منجر به نتایج دقیقتری گردد. همچنین از آنجا که اطلاعات پایه طراحی نظیر ضریب زهکشی، عمق لایه غیر قابل نفوذ، ضریب هدایت هیدرولیکی و ... تأثیر قابل توجهی در محاسبه قطر، فاصله و عمق بهینه نصب لوله زهکش دارد، پیشنهاد می‌نماید در ادامه تحقیق حاضر، در مطالعه دیگری با پذیرش عدم قطعیت و عدم دقت در داده‌های پایه سیستم، از مدل سازی فازی به جای مدل‌سازی قطعی استفاده شود.

پی‌نوشت‌ها

1-Selection
2-Crossover
3-Mutation
4-Pareto Frontiers
5-Tournament

- مراجع

Abraham A, Jain L and Goldberg R (2005) Evolutionary multiobjective optimization, theoretical advances and applications. Springer-Verlog, London, 7-32

Bhagu R Ch and Ghanshyam P V (2010) Optimal spacing in an array of fully penetrating ditches for subsurface drainage. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 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

Deb K (2001) Multi-objective optimization using evolutionary algorithms. UK: Wiley, 518p

Deb K, Pratap A, Agarwal S and Meyarivan T (2002) A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6(2): 182-197

Hornbuckle J W, Christen EW and Faulkner R D (2007) Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. Agricultural Water Management 89(3): 208-216

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 Persian)

Pazira E and Homaee M (2010), Salt leaching efficiency of subsurface drainage system at presence of diffusing saline water table boundary, 17th Word Congress of the International Commission of Agricultural Engineering (CIGR). Qeuebec City, Canada

Razi F, Sotoodehnia A, Daneshkar Arasteh P and 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 (In Persian)

Shao X H, Hou M M Chen LH, Chang T T and Wang W N (2012) Evaluation of subsurface drainage based on projection pursuit. Energy Procedia 16B:747-752

Smedema L K, Vlotman W F and Rycroft D (2004) Modern land drainage: planning, design and management of agricultural drainage systems. CRC Press, 462 p

Soleimani M, Parsinejad M and Nouri H (2013) Estimating subsurface drainage network installation cost (A case study: Behshahr). Watershed Management Research 26(1):34-41 (In Persian)

Sotoodehnia A, Razi F and Daneshkar Arasteh P (2014), Using SEEP/W numerical model to simulate drain installation depth effects on drain water salinity improvement. Iranian Journal of lrrigation and Drainage 8(1): 187-196 (In Persian)

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 Persian)