پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

طراحی بهینه زهکش زیرزمینی برای کاهش شوری زه‌آب

مریم نوابیان[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]

چکیده

شوری بالای زه‌آب ورودی به زهکش‌های طبیعی مشکلات زیادی را به لحاظ زیست محیطی، کاهش کیفیت منابع آب و مصارف پایین دست ایجاد می‌نماید. طراحی و مدیریت بهینه سیستم‌های زهکش نقش مهمی در کاهش شوری زه‌آب دارد. زهکش کنترل شده با کنترل کیفیت و حجم زه‌آب روش مدیریتی کارآمدی در کاهش شوری زه‌آب خروجی از مزرعه به شمار می‌رود. زه آب زهکش‌ها از اختلاط شوری آب نفوذیافته از عمق توسعه ریشه و پایین زهکش با شوری آب زیرزمینی ایجاد می‌شود. عمق و فاصله زهکش‌ها به عنوان پارامترهای طراحی سیستم‌های زهکشی، بر میزان آب ورودی از دو بخش ناحیه اشباع و غیراشباع به لوله زهکش موثر می‌باشند. شوری بالای آب زیرزمینی (مانند وضعیتی که در خوزستان وجود دارد)، به عنوان عامل تأثیرگذار بخش زیر زهکش باعث افزایش شوری زه‌آب و افزایش مشکلات در پایین دست می‌گردد. بنابراین طراحی و مدیریت سیستم زهکش باید به گونه‌ای صورت بگیرد که سهم بخش ورودی به زهکش از ناحیه زیر زهکش (عمق معادل) به حداقل برسد. از آنجا که عمق معادل تابعی از فاصله و عمق زهکش است، در این مطالعه مدل بهینه‌یابی تعیین فاصله و اعماق بهینه زهکش در طول فصل رشد با هدف حداقل نمودن شوری زه‌آب با توجه به تغییرات ماهانه نیاز آبیاری، شوری آب زیرزمینی و شوری آب خروجی از عمق توسعه ریشه ارائه شده است. مقادیر بهینه متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌یابی به روش

۱- دانشجوی دکترای گروه آبیاری دانشکده مهندسی آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.
Navabian@Guilan.ac.ir.

۲- دانشیار گروه آبیاری دانشکده مهندسی آب و خاک پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. Aliaghat@ut.ac.ir.

الگوریتم ژنتیک تعیین شدند. از میان اعماق بهینه‌یابی شده در ماه‌های مختلف فصل رشد، بیشترین عمق به عنوان عمق کارگذاری زهکش و سایر آنها با توجه به مفهوم زهکش کنترل شده با استفاده از رایزر قابل اجرا می‌باشد. اعتبار سنجی مدل ارائه شده با خصوصیات واحد میرزا کوچک‌خان طرح توسعه نیشکر اهواز نشان داد که فاصله و اعماق بهینه زهکش برای خروج کمترین شوری توسط زه‌آب به ترتیب برابر با ٦٥، ۲/۳، ۲/۳۵، ۲/۰۰ و ۲/۲۵ متر در ماه‌های تیر تا مهر می‌باشد. مقایسه نتایج بهینه‌یابی فاصله و اعماق زهکشی با شرایط کنونی طرح (فاصله ۵۰ و عمق ۲ متر) حاکی از آن است که مقادیر بهینه شده نقش موثری در کاهش شوری زه‌آب دارند.

کلمات کلیدی: اثرات زیست محیطی، الگوریتم ژنتیک، طراحی بهینه سیستم‌های زهکشی، مدیریت کیفی.

۱ـ مقدمه

اغلب سیستم‌های کشاورزی که بیشترین مقدار محصول را تولید می‌کنند در اراضی زهکشی شده قرار دارند. اگرچه زهکشی امکان تولید زراعی در خاکهای شور و مرطوب را فراهم می‌نماید اما زه‌آب‌های حاصل از زهکشی آلاینده‌هایی مانند مواد مغذی، رسوبات، سموم دفع آفات، نمکها و سایر مواد آلوده کننده را به آب‌های سطحی و زیرزمینی منتقل می‌سازند. در اراضی فاریاب مقادیر زیادی املاح به طور مداوم به همراه آب آبیاری به خاک اضافه می‌شود. این املاح یا در منطقه ریشه تجمع می‌یابند که سبب کاهش عملکرد محصول می‌شوند و یا به اعماق خاک شسته شده و به همراه زه‌آب باعث آلودگی منابع آب زیرزمینی و سطحی می‌شوند. با توجه به کمبود منابع آب، برای مدیریت بهینه منابع آب باید سیستم‌های آبیاری و شبکه‌های زهکشی به طور صحیح طراحی و مدیریت شوند. در غیر اینصورت عملکرد گیاه به دلیل ماندابی شدن منطقه توسعه ریشه و یا تجمع نمک در آن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر مدیریت و طراحی ناکارآمد منجر به خروج بیش از حد کود و املاح خاک به همراه رواناب و زه‌آب شده و مشکلات زیست محیطی را ایجاد می‌نمایند. کنترل آلودگی در نواحی فاریاب می‌تواند از طریق مدیریت آب در آبیاری و زهکشی با حداقل کردن آبشویی، افزایش راندمان آبیاری، مدیریت سطح ایستابی و طراحی بهینه و مدیریت کارآمد سیستم‌های آبیاری و زهکشی در جهت کاهش حجم زه‌آب و بارگیری مواد شیمیایی و املاح بدست آید. یک سیستم مدیریت کارآمد آب، کیفیت و کمیت آب و افزایش عملکرد محصول را در نظر می‌گیرد. به دلیل پیچیدگی چنین سیستمی، وجود مدل‌های ریاضی یا عددی شبیه‌سازی فرآیندهای حاکم کمک موثری در پیش‌بینی سیستم، تصمیم‌گیری و بهینه‌یابی پارامترهای طراحی و مدیریتی آن می‌باشد. مدل‌های شبیه‌سازی- بهینه‌یابی به دلیل لحاظ کردن اثرات متقابل پارامترهای موثر ابزار مناسبی برای دستیابی به این امر می‌باشند.

برای کنترل سطح ایستابی و شوری در اراضی فاریاب، زهکش زیرزمینی بکار گرفته می‌شود. کیفیت زه‌آب خروجی از این زهکش‌ها به کیفیت آب آبیاری، نهاده‌های کشاورزی (کود،سم و آفت‌کش‌ها) و کیفیت آب

زیرزمینی بستگی دارد. عمق و فاصله زهکش نیز بر مقدار و کیفیت زه‌آب تولید شده موثر هستند. به طوریکه زه‌آب زهکش‌های عمیق‌تر نسبت به زهکش‌های کم عمق از کمیت بیشتر و کیفیت پایین‌تری برخوردار است [۳، ٤ و ٥] . در مناطقی که سطح ایستابی کم عمق توسط زهکش کنترل می‌شود، میزان زه‌آب، شوری، مواد مغذی و عناصر سنگین خروجی کاهش می‌یابد [۱۱ و ۱۳]. اگرچه زهکش کنترل شده منجر به کاهش خروج شوری می‌گردد اما برای جلوگیری از شوری خاک، آبشویی خاک باید در زمانی که شوری خاک به حد آستانه گیاه رسیده باشد و یا در فصل زمستان که محدودیت منابع آب وجود ندارد، صورت گیرد [۹]. نوابیان و لیاقت (۱۳۸۵) مدل بهینه‌یابی عمق و فاصله زهکش را برای کاهش شوری زه‌آب ارائه نمودند. در این مدل به دلیل شوری بالای آب زیرزمینی، از عمق معادل زیست محیطی برای کاهش سهم خروج زه‌آب از زیر عمق زهکش استفاده شد. فرضیات حاکم بر مدل شامل ثابت بودن هدایت هیدرولیکی خاک، غلظت آب زیرزمینی و تاثیر پذیری عمق معادل از عمق و فاصله زهکش و غلظت آب زیر زمینی بودند. به دلیل ورود نفوذعمقی با کیفیت مناسب‌تر به لایه زیر عمق زهکش، غلظت آب زیرزمینی در طول دوره زهکشی متغیر می‌باشد. بنابراین در این تحقیق تغییرات غلظت آب زیرزمینی در مدل بهینه‌یابی لحاظ شده است.

الگوریتم ژنتیک یکی از روش‌های نوین بهینه‌سازی است که در زمینه توابع غیرخطی و پیچیده کاربرد فراوان یافته است. نتایج بسیاری از تحقیقات نشان داده‌است که این روش نسبت به سایر روش‌های بهینه‌سازی قدیمی دارای نتایج و برتری‌های قابل توجهی می‌باشد [۱۲]. روش الگوریتم ژنتیک نخستین بار توسط هولاند (۱۹۷۰) ارائه شد [۸] و سپس به صورت یک روش بهینه‌سازی قوی توسط گولدبرگ (۱۹۸۹) توسعه یافت [٦]. این روش بر مبنای اصل تکامل الگو برداری شده است به همین دلیل در حل مسائل پیچیده و غیرخطی کاربرد فراوانی یافته است. مشابه سیر تکامل بیولوژیکی، الگوریتم ژنتیک نیز دارای یک سیر تکاملی می‌باشد. به عبارت ساده‌تر این روش با تولید نسل‌های (مجموعه جوآب‌های) متعدد از جوآب‌های امکان‌پذیر، سعی می‌کند به سوی جواب بهینه عمومی حرکت نماید. در این روش در نسل‌ها به جوآب‌های مناسب‌تر و بهتر، امکان بقا و مشارکت در تولید جوآب‌ها و نسل‌های جدید داده می‌شود [۱]. بنا بر بررسی‌های صورت گرفته، تاکنون این روش در علم آبیاری و زهکشی در مباحث بهینه‌سازی آرایش، ترکیب و اندازه شبکه آبرسانی لوله‌ای در آبیاری تحت فشار [۷]، حل کردن تابع هدف چندگانه آلودگی آب‌های زیرزمینی [۱۰] و مدل مدیریتی آب‌های زیرزمینی [۱۲] مورد استفاده قرار گرفته است.

در این تحقیق مدل بهینه‌یابی پارامترهای اعماق و فاصله زهکش برای حداقل‌سازی شوری زه‌آب زهکش‌ها ارائه شده است. در این مدل با توجه به نیاز آبی گیاه، راندمان آبیاری، نمک ورودی به همراه آب آبیاری و تغییرات شوری آب زیرزمینی، عمق‌های زهکش در ماه‌های مختلف رشد گیاه و فاصله زهکش‌ها معین می‌گردند. در طراحی چنین سیستم زهکشی که فاصله زهکش‌ها یکسان و عمق آن در ماه‌های مختلف نیاز آبی و آبیاری گیاه متفاوت باشد (زهکش کنترل شده) با نصب رایزر در انتهای زهکش و تنظیم ارتفاع آن کمیت و کیفیت زه‌آب خروجی کنترل می‌گردد.

۲ـ مواد و روش‌ها

شوری و زه‌آب کم در زهکش‌های کم عمق منجر به کاهش خروج شوری از زهکش‌ها گردیده و اثرات منفی زیست محیطی را کاهش می‌دهد. از سوی دیگر زهکش‌ها باید در عمقی نصب شوند که سطح ایستابی در حد مناسب ایجاد شده تا از ماندابی شدن منطقه توسعه ریشه جلوگیری بعمل آید. مدل بهینه‌یابی با در نظر گرفتن دو مفهوم فوق می‌تواند عمق و فاصله زهکش را به گونه‌ای تعیین نماید که نه تنها شوری خروجی توسط زه‌آب و درنتیجه صدمات زیست محیطی کاهش یابد بلکه از ایجاد شرایط ماندابی در منطقه توسعه ریشه جلوگیری بعمل آید. شوری آب آبیاری، تغییرات غلظت آب زیرزمینی، نیاز آبیاری، راندمان آبیاری و شوری خاک از عوامل موثر بر کیفیت زه‌آب می‌باشند که در این تحقیق در تابع هدف مدل بهینه‌یابی مورد توجه قرار گرفته‌اند. تابع هدف مدل بهینه‌یابی شامل معادله هوگهات برای تخمین میزان زه‌آب تولید شده از بالا و زیر عمق زهکش، بیلان جرمی نمک ورودی به و خروجی از لایه آبدار زیر زهکش برای تخمین تغییرات شوری آب زیرزمینی و معادله نمک زه‌آب نفوذیافته از عمق توسعه ریشه با توجه به شوری خاک و آب آبیاری و راندمان آبشویی می‌باشد.

خیز آب ایجاد شده بر روی زهکش در طی دوره تناوب باید تا سطح زهکش افت نماید. حجم زه‌آب تولید شده شامل دو بخش می‌باشد که بخشی از این حجم آب از بالای سطح زهکش با کیفیت آب خارج شده از منطقه توسعه ریشه و بخش دیگر از ناحیه زیر زهکش و با کیفیت آب زیر سطح زهکش وارد زهکش زیرزمینی می‌شود. به عنوان مثال در فرمول هوگهات (فرم ماندگار) بخش اول معادله یعنی ($Q_1 = 4kh^2 / L^2$) مربوط به حجم زه‌آب ورودی به زهکش از بالای سطح زهکش و بخش دوم معادله یعنی ($Q_2=8kdh/L^2$) مربوط به حجم زه‌آب ورودی به زهکش از زیر سطح زهکش می‌باشد. که Q_1، Q_2، K، h، d و L به ترتیب شدت جریان در بالا و پایین عمق زهکش، هدایت آبی اشباع، فاصله سطح ایستابی حد وسط زهکش تا سطح زهکش، عمق معادل و فاصله زهکش می‌باشند. بنابراین تابع هدف با توجه به معادله هوگهات و شوری زه‌آب در بالا و پایین عمق زهکش عبارت است از حداقل سازی مجموع حاصلضرب شوری هر لایه در میزان زه‌آب خروجی از آن لایه (معادله ۱).

$$\text{Optimization :} \qquad \text{Min } C = C_{updrain} \times Q_1 + C_g \times Q_2 \qquad (۱)$$

$$C = \left[\frac{\frac{4K(D_{drain} - rd)^2}{L^2}}{\left[\frac{4K(D_{drain} - rd)^2}{L^2} + \frac{8Kd(D_{drain} - rd)}{L^2} \right]} C_{updrain} + \frac{\frac{8Kd(D_{drain} - rd)}{L^2}}{\left[\frac{4K(D_{drain} - rd)^2}{L^2} + \frac{8Kd(D_{drain} - rd)}{L^2} \right]} C_g \right] \qquad (۲)$$

Subject To:

$$40 \prec L \prec 500\text{m}$$
$$1.0 \prec D_{drain} \prec 2.5\text{m} \quad (۳)$$
$$Q_1 + Q_2 \geq 1.2\ \text{mm/d}$$

$$C_{updrain} = ef_2 \times Ec_{soil} + (1\text{-}ef_2) \times Ec_i$$
$$ef_2 = L_{deep} \times \frac{Et(i)\text{-}Pre(i)}{Maximum\{Et(i)\text{-}Pre(i)\}} \quad (۴)$$

$$C_g = (D - D_{drain}) \times C_g + Q_2 \times T \times C_{updrain} \quad (۵)$$

به‌طوریکه $C_{updrain}$ (dS/m) غلظت آب نفوذیافته از عمق توسعه ریشه، K (m/d) هدایت آبی اشباع، D_{drain} (m) عمق زهکش، L (m) فاصله زهکش، rd (m) عمق توسعه ریشه، C_g (dS/m) غلظت آب زیر زمینی، d (m) عمق معادل، L_{deep} میزان تلفات نفوذعمقی، Ec_{soil} (dS/m) هدایت الکتریکی خاک، Ec_i (dS/m) هدایت الکتریکی آب آبیاری، Et (mm/d) تبخیر و تعرق، pre (mm) بارندگی، T (day) دوره تناوب آبیاری و Q_1 و Q_2 به ترتیب شدت زهکشی در لایه بالا و پایین زهکش(mm/d) می‌باشند.

از آنجا که تغییر نیاز آبی، میزان نفوذ عمقی و شوری آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف فصل رشد، موجب تغییر حجم و کیفیت زه‌آب می‌گردد، زهکش کنترل شده و مدیریت سطح ایستابی به کمک اعمال اعماق متفاوت زهکشی در ماه‌های مختلف می‌تواند کمک موثری در کاهش حجم و شوری زه‌آب باشد. از این رو متغیرهای تصمیم مدل بهینه‌یابی شامل عمق‌های زهکش در ماه‌های مختلف فصل رشد گیاه و فاصله زهکش‌ها انتخاب گردید. قیود مدل بهینه‌یابی عمق و فاصله زهکش و شدت زه‌آب خروجی از زهکش برای جلوگیری از شرایط ماندابی می‌باشند.

پارامترهای ورودی مدل بهینه‌یابی شامل میزان بارندگی، تبخیر و تعرق، تعداد ماه‌های رشد گیاه، عمق توسعه ریشه، راندمان آبشویی نمک، میزان تلفات نفوذ عمقی، عمق لایه غیر قابل نفوذ، هدایت هیدرولیکی لایه بالا و پایین عمق زهکش، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک، آب آبیاری و آب زیرزمینی و شعاع لوله زهکش و عرض ترانشه آن می باشند.

از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل بهینه‌یابی استفاده گردید. پارامترهای الگوریتم ژنتیک شامل تعداد جمعیت اولیه، تعداد نسل، احتمال جهش و احتمال تزویج به ترتیب برابر با ۱۵۲، ۲۰۰، ۰/۰۵ و ۰/۹۵ در نظر گرفته شدند.

به منظور ارزیابی مدل بهینه‌سازی ارائه شده از داده‌های طرح توسعه نیشکر خوزستان واحد میرزا کوچک‌خان استفاده گردید. طرح توسعه نیشکر خوزستان به دلیل ایجاد حجم بالای زه‌آب با کیفیت نامناسب منجر به مشکلات زیست محیطی فراوانی در منطقه شده است. یکی از علل کیفیت نامناسب زه‌آب

در این طرح‌ها وجود سطح آب زیرزمینی شور می‌باشد، به طوری که ورود بخشی از این آب به زهکش از زیر سطح زهکش منجر به کیفیت نامناسب زه‌آب می‌شود.

واحد میرزا کوچک‌خان یکی از واحدهای هفت‌گانه طرح توسعه نیشکر خوزستان می‌باشد که در قسمت جنوبی شهرستان اهواز در غرب رود کارون بین "۳۰و٤٨ و "۱۲و٤٨ طول شرقی و "۱٥و۳۱ و "٤٦و۳۱ عرض شمالی واقع شده است. بافت سطحی سری خاک را اغلب لوم سیلتی و لومی و بافت زیرین را سیلتی لوم و سیلتی رسی لومی تشکیل می‌دهند. دلایل زهکشی منطقه بالا بودن سطح آب زیرزمینی، سنگینی بافت خاک، شیب بسیار کم اراضی، شوری بسیار زیاد خاک و آب زیرزمینی می‌باشند. سیستم زهکشی منطقه شامل سیستم زهکشی زیرزمینی با لوله‌های پلاستیکی خرطومی به عمق ۲ متر و فاصله ٥۰ متر از یکدیگر می‌باشد. آب آبیاری از رودخانه کارون پمپ و توسط کانالهای بتنی و هیدروفلوم به مزرعه منتقل می‌گردد. آبیاری به روش شیاری با انتهای مسدود صورت می‌گیرد. مقادیر پارامترهای مورد نیاز در تابع هدف برای واحد میرزا کوچک‌خان به شرح زیر می‌باشد:

میزان بارندگی صفر میلیمتر، تبخیر و تعرق ۱۲/۳٦، ۱۰/۹، ۱۰/۲۲ و ۷/۷٦ میلیمتر بر روز برای ماه‌های تیر تا مهر، تعداد ماه‌های رشد گیاه ٤ ماه، عمق توسعه ریشه یک متر، راندمان آبشویی نمک ٥۰ درصد، میزان تلفات نفوذ عمقی ده درصد، عمق لایه غیر قابل نفوذ ٤ متر، هدایت هیدرولیکی لایه بالا و پایین عمق زهکش ۰/٤٨ متر بر روز، هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ۳/٥ دسی زیمنس بر متر، هدایت الکتریکی آب آبیاری ۲/٥ دسی زیمنس بر متر و هدایت الکتریکی آب زیر زمینی ۷۰ دسی زیمنس بر متر و شعاع لوله زهکش ۰/۱٥ متر و عرض ترانشه آن ۰/٥ متر می‌باشند.

۳ـ نتایج و بحث

اعتبار سنجی مدل ارائه شده با خصوصیات واحد میرزا کوچک‌خان طرح توسعه نیشکر اهواز نشان داد که فاصله و اعماق بهینه زهکش برای خروج کمترین شوری توسط زه‌آب به ترتیب برابر با ٦٥، ۲/۳، ۲/۳٥، ۲/۰۰ و ۲/۲٥ متر در ماه‌های تیر تا مهر می‌باشد. این نتایج مربوط به طراحی شبکه زهکشی می‌باشد. در شرایطی که هدف مدیریت زهکشی شرایط کنونی واحد میرز کوچک خان، کاهش شوری زه‌آب باشد، به دلیل امکان تغییر عمق زهکشی توسط رایزر برای فاصله زهکش ٥۰ متری، اعماق بهینه زهکش ۲، ۱/۸، ۲ و ۱/۷٥ متر برای ماه‌های تیر تا مهر بدست آمدند. مقادیر بهینه‌یابی شده نه تنها منجر به کاهش خروج شوری توسط زه‌آب می‌گردد بلکه از شرایط ماندابی نیز جلوگیری می‌نماید. مقایسه نتایج بهینه‌یابی فاصله و اعماق زهکشی با شرایط کنونی طرح (فاصله ٥۰ و عمق ۲ متر) حاکی از آن است که مقادیر بهینه شده نقش موثری در کاهش شوری زه‌آب دارند.

مقادیر بهینه‌یابی شده عمق‌ها و فاصله زهکش در طراحی شبکه‌ای با ویژگی‌های واحد میرزا کوچک‌خان منجر به خروج زه‌آب با هدایت الکتریکی ٥۰/۳، ٥۰، ٥٥/٦ و ٥۱/۳٥ دسی زیمنس بر متر به ترتیب در ماه‌های تیر تا مهر می‌گردد. همچنین مقادیر بهینه‌یابی شده برای مدیریت کنونی واحد میرزا کوچک‌خان با

استفاده از زهکش کنترل شده منجر به خروج زه‌آب با هدایت الکتریکی ٥٦/٤، ٥٦/٨، ٥٦ و ٥٩/٣ دسی زیمنس بر متر خواهد شد. مقادیر زه آب ورودی به زهکش از بالا و پایین زهکش و مجموع زه آب ورودی به زهکش به ترتیب ٠/٧٦٧٩، ١/٩٥ و ٢/٧٢ میلیمتر بر روز در شرایط طراحی بهینه و برای شرایط مدیریت وضعیت کنونی یعنی فاصله زهکش ٥٠ متری، اعماق بهینه زهکش ٢، ١/٨، ٢ و ١/٧٥ متر برای ماه‌های تیر تا مهر برابر با ٠/٧٦٨، ٢/٨٩٥ و ٣/٦٦٣ میلیمتر بر روز بدست آمدند. مقادیر بدست آمده حاکی از نقش بهینه یابی اعماق زهکش در جهت کاهش سهم زه آب ورودی از زیر زهکش و در نتیجه تاثیر مثبت آن بر کیفیت زه آب می‌باشد.

طراحی بهینه سیستم‌های زهکشی بر اساس مسائل زیست محیطی روشی است که به دلیل کنترل آلودگی در سطح مزرعه نتایج مناسبی را از لحاظ اقتصادی و زیست محیطی می‌تواند به همراه داشته باشد. لذا تغییر نگرش اصول و معیارهای زهکشی از معیارهای اقتصادی به زیست محیطی توصیه می‌گردد.

فهرست منابع

۱- کارآموز، محمد. رضا کراچیان، ۱۳۸۲. برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب، انتشارات دانشگاه امیرکبیر، ٤٠٥ صفحه.

۲- نوابیان، مریم. عبدالمجید لیاقت. ۱۳۸۵. طراحی بهینه سیستم‌های زهکشی با نگرش زیست محیطی با استفاده از الگوریتم ژنتیک. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۱۲ تا ١٤ اردیبهشت ۱۳۸۵. اهواز.

3- Ayars, J.E., M.E., Grismer and J.C. Guitjens. 1997. Water quality as design criterion in drainage water management systems. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 123(3): 154– 158.

4- Ayars J.E., E.W. Christen and J.W. Hornbuckle. 2006. Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. Agricultural water management 86: 128 – 139.

5- Christen, E. and D. Skehan. 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. Irri. Drain. Eng. 127 (3): 148-155.

6- Goldeberg, D. E. and C. H. Kuo. 1993. Genetic algorithm in pipeline optimization. J. Comp. Civ. Eng., 1(2): 128-141.

7- Goldeberg, D. E. 1989. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning. New York. Addison, Wesley.

8- Holland, J. H. Genetic algorithm and the optimal allocation of trial, 1970, SIAM J. of Computing, Vol. 2(2), PP 88-105.

9- Hornbuckle J., E. Christen, J. Ayars, R. D. Faulker. 2005. Controlled water table management as a strategy for reducing salt loads from subsurface drainage under perennial agriculture in semi-arid Australia. Irrigation and Drainage Systems 19: 145–159.

10- Ritzel, B. J., J. W Eheart. and S. Ranjithan. 1994. Using Genetic algorithms to solve a multiple objective groundwater remediation problem, Water Resource Research, 30(5), P 1581-1603.
11- Skaggs, R. W. 1999. Water table management: sub irrigation and controlled drainage. In R. W. Skaggs and J. Van Schilfgaarde, eds. Agricultural drainage. Number 38 in the series Agronomy. Madison, Wisconsin, The United States of America, America Soil Science Society of America.
12- Yoon, J. H. and C. A. Shiemaker. 1999. Comparison of optimization methods for groundwater bioremediation. J. Water Resource Planning and Management. Vol. 125. No. 1:64-83.
13- Zucker, L. A. and L. C. Brown. 1998. Agricultural drainage: water quality impacts and subsurface driange studies in the Midwest extension Bulletin 871. The United States of America. Ohio State University.