Archive of SID
DOI 10.22059/ijswr.2019.292663.668397 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۳، خرداد ۱۳۹۹ (ص ۷۵۲-۷۳۷)

Installation Depth of Subsurface Drains in Arid and Semi–Arid Regions; Challenges and Solutions

MAJID SHARIFIPOUR[1*], ALIREZA HASSANOGHLI [2], ABDOLMAJID LIAGHAT[3], ABD ALI NASERI[4]

1. Department of Water Engineering, Lorestan University, Khorramabad, Iran.
2. Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran
3. Irrigation and Reclamation Engineering Department, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Unviersity College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran , Karaj, Iran
4. Professor of Irrigation and Drainage Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

(Received: Nov. 21, 2019- Revised: Dec. 26, 2019- Accepted: Dec. 28, 2019)

ABSTRACT

The main challenge in determining drainage depth in arid and semi-arid regions is the inefficiency of shallow drainage in salinity control and producing more drainage water by deep drains which is also more saline and more polluted. In the irrigation season, the focus of drainage is mainly on soil aeration, and the depth of the drainage design should keep the groundwater level in a position that avoids damages caused by waterlogging. During the non-irrigation period, the minimum depth required for drainage should be such as to prevent salinity increase through the capillary flow. Controlled drainage is the best way to overcome the conflict of salinity control and less damage to the environment. However, necessary equipment and structures for these systems are costly, as well as operational and maintenance problems, have led to a lack of expansion of such systems in developing countries. The simplest and cheapest solution to the problem is to plow the soil or any other tillage operation that will cut off the capillaries. But post-harvest plowing exposes soil organic matter to sunlight that is rapidly oxidized, which will have a negative impact on soil fertility. Another suggested solution is a bi-level drainage system. In such a system, the task of controlling the water level in the irrigation season is mostly the responsibility of shallow drains. In the non-irrigation season, the water level drops to deeper drain levels and the potential for re-salinization by capillary up–flow will be reduced.

Keywords: salinity, drainage water, capillary, controlled drainage, bi-level drainage

* Corresponding Author's Email: sharifipour.m@lu.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی در مناطق خشک و نیمه‌خشک؛ چالش‌ها و راهکارها

مجید شریفی‌پور[1*]، علیرضا حسن‌اقلی[2]، عبدالمجید لیاقت[3]، عبدعلی ناصری[4]

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

۲. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

۳. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران

۴. گروه آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۳۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۵- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۷)

چکیده

چالش اصلی در تعیین عمق زهکش‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عدم کارآیی زهکش‌های کم‌عمق در کنترل شوری و در عین‌حال تخلیه زهاب بیشتر، شورتر و آلوده‌تر توسط زهکش‌های عمیق است. در فصل آبیاری، هدف زهکشی عمدتاً تهویه خاک است و عمق طراحی زهکش‌ها باید سطح آب زیرزمینی را در موقعیتی حفظ کند که از آسیب‌های ناشی از ماندابی جلوگیری شود. در دوره بدون آبیاری، حداقل عمق لازم برای زهکش‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که از صعود شوری همراه با جریان مویینگی جلوگیری کند. شاید بهترین راهکار فائق آمدن بر تعارض کنترل شوری و آسیب کمتر به محیط‌زیست، زهکشی کنترل شده است. با این‌حال هزینه نصب تجهیزات و سازه‌های لازم برای این سامانه‌ها و همچنین مشکلات بهره‌برداری و نگهداری، سبب شده است تا اجرا و بهره‌برداری از آنها در کشورهای درحال توسعه گسترش زیادی پیدا نکند. شاید به‌نظر ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راهکار، شخم‌زدن خاک و یا هرگونه عملیات خاک‌ورزی است که موجب قطع لوله‌های مویین شود. ولی شخم زدن پس از برداشت محصول، محتوای مواد آلی خاک را در برابر نور آفتاب قرار می‌دهد که با سرعت اکسید می‌شوند و این امر بر حاصلخیزی اراضی اثر منفی خواهد گذاشت. یک راهکار قابل پیشنهاد دیگر سامانه زهکشی دوعمقی است. در چنین سامانه‌ای، وظیفه کنترل سطح ایستابی در فصل آبیاری بیشتر بر عهده زهکش‌های کم‌عمق است و در فصل بدون آبیاری سطح ایستابی به تراز زهکش‌های عمیق‌تر نزول می‌کند و پتانسیل شور شدن مجدد به وسیله خیز مویینگی کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: شوری، زهاب، مویینگی، زهکشی کنترل شده، زهکشی دوعمقی

مقدمه

برای تغذیه جمعیت در حال رشد جهان، که تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۵ میلیارد نفر بالغ خواهد شد، تولید غذا باید ۶۰ درصد افزایش پیدا کند (United Nations, 2012; FAO, 2013; Singh, 2015a). توسعه کشاورزی فاریاب برای دستیابی به امنیت غذایی بسیار حیاتی است و سهم آن در تولید غذا تا سال ۲۰۳۰، از ۴۰ درصد فعلی، به ۴۵ درصد افزایش خواهد یافت (Faures *et al*., 2007; Singh, 2014a, b). علاوه بر آن کشاورزی در اراضی تحت آبیاری، دارای پایداری بالاتری نسبت به اراضی دیم است و همین به تثبیت قیمت مواد غذایی در جهان کمک قابل توجهی نموده است (Hanjra *et al*., 2009; Rosegrant and Cline, 2003). کشاورزی فاریاب اما با چالش‌های بزرگی روبرو است؛ هزینه‌های بالای اقتصادی و زیست‌محیطی، تأمین منابع آب جدید برای گسترش اراضی تحت آبیاری را محدود کرده است (Rosegrant and Cai, 2000)، و نیز بیش از یک سوم اراضی فاریاب جهان با مشکلات شوری و یا ماندابی روبرو است (Heuperman *et al*., 2002; Valipour, 2014; Singh, 2015b, c).

تنها راه شناخته شده برای مقابله با مشکل شوری و ماندابی اراضی کشاورزی، احداث سامانه‌های زهکشی است. قبل از اجرای طرح‌های زهکشی، مجموعه‌ای از مطالعات صورت می‌گیرد. اهداف این مطالعات عمدتاً شامل شناخت ماهیت مسئله، بررسی ضرورت و برآورد پارامترهای طراحی است. پارامترهای طراحی زهکشی را می‌توان اجزاء فرمول‌های زهکشی برشمرد، به جز فاصله زهکش‌ها که معمولاً هدف (مجهول) معادله است. این پارامترها شامل؛ هدایت هیدرولیکی، عمق لایه نفوذناپذیر (این دو با اندازه‌گیری صحرایی تعیین می‌شوند)، ضریب زهکشی (با استفاده از معادله بیلان آب) و عمق نصب زهکش‌ها هستند. تعیین عمق نصب زهکش‌ها به دلیل پیامدهایی که بر عملکرد، اثرات زیست‌محیطی

* نویسنده مسئول: sharifipour.m@lu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

و هزینه‌ی سیستم‌های زهکشی دارد، تصمیم‌گیری دشواری است.

در نیم قرن اخیر به عمق زهکشی بیشتر به عنوان یک مفهوم اقتصادی نگریسته شده است. هزینه احداث زهکش‌های عمیق در واحد طول، بیشتر از زهکش‌های کم‌عمق است. چرا که با افزایش عمق کارگذاری زهکش‌ها، حجم جابه‌جایی خاک افزایش و سرعت حفر ترانشه توسط ترنچر کاهش می‌یابد، بنابراین هزینه استهلاک سرمایه خرید ترنچر در واحد طول لترال‌گذاری که از عمده‌ترین هزینه‌های زهکشی زیرزمینی است، افزایش پیدا می‌کند. این کاهش راندمان در اعماق بیش از دو متر به صورت تصاعدی خواهد بود (Kahlown and Khan, 2004) و هزینه‌های زهکشی را به شدت افزایش می‌دهد. ولی از سوی دیگر، طول لترال‌های زهکش در واحد سطح، در زهکش‌های کم‌عمق بیشتر است. بدین‌ترتیب عمق زهکشی مناسب، عمقی در نظر گرفته می‌شده که هزینه احداث سامانه زهکشی را به حداقل برساند (Akram *et al*., 2013). یکی از راهبردهای تعیین عمق زهکش‌ها که توسط اداره عمران اراضی ایالات متحده[1] پشتیبانی می‌شد، راهبرد "عمقِ کمترین هزینه" است، که در حقیقت یافتن عمقی است که با ترکیب این دو عامل، هزینه‌های اجرایی را به حداقل برساند (Smedema, 2007). تعیین عمق نصب زهکش‌ها در نشریه شماره ۶۲ فائو (Van der Molen *et al*., 2007) و همچنین نشریه شماره ۳۱۹ دفتر استانداردها و معیارهای فنی شرکت مدیریت منابع آب ایران (Bureau of Standards and Technical Criteria of Iran Water Resources Management Company, 2005) با تأکید بر همین راهبرد است.

چالش اصلی در تعیین عمق زهکش‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک عدم کارآیی زهکش‌های کم‌عمق در کنترل شوری و در عین حال تخلیه زهاب بیشتر و شورتر توسط زهکش‌های عمیق است. تاکنون محققان و متخصصان بسیاری بر اثرات منفی افزایش عمق زهکش‌ها بر کاهش کیفیت و افزایش حجم زهاب تأکید کرده‌اند، نتیجه چنین پژوهش‌هایی پشتیبان این ایده بود که نصب زهکش‌های عمیق برای کنترل شوری غیرضروری است (Smedema, 2007). چنین ایده‌هایی اندک اندک راه خود را به استانداردهای ملی طراحی هم گشودند، چنانکه عمق نصب زهکش‌ها در پاکستان به‌تدریج از اعماق ۲/۲۵-۲/۴۰ متر در دهه ۱۹۸۰، به ۱/۵ تا ۱/۲ متر در دهه ۱۹۹۰ کاهش‌پیدا کرد (Qureshi *et al*., 1997). در ایران نیز اعماق مرسوم برای زهکشی از حدود ۲/۲ متر در دهه ۱۹۸۰ به ۱/۵ متر در سال‌های اخیر رسیده‌اند (Akram *et al*., 2013). کاهش عمق زهکش‌ها در دو دهه اخیر، عموماً با هدف کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی بوده و نه کاهش هزینه احداث سامانه زهکشی (Ritzema and Schultz, 2011). با این حال، هر چند سامانه‌های زهکشیِ کم-عمق در کنترل ماندابی موفق عمل کرده‌اند، ولی با قطعیت نمی-توان گفت که در مورد کنترل شوری هم مؤثر بوده‌اند (Christan and Shekan, 2001; Hermsmeier, 1973; Ghaemi and Willardson, 1992). شاید به همین علت، مراجع طراحی سیستم‌های زهکشی لوله‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچنان زهکش‌های عمیق را توصیه می‌نمایند، از جمله راهنمای ASCE-PE 463-1 جامعه مهندسان کشاورزی آمریکا (American Society of Agricultural Engineers, 2003). نشریه شماره ۶۲ فائو با عنوان برنامه‌ریزی و طراحی سامانه‌های زهکشی اراضی، در مناطق خشک که نگرانی از شور شدن اراضی وجود دارد، زهکش‌های با عمق ۳-۲ متر را پیشنهاد کرده است. در موردی دیگر Sarwar and Feddes (2000) عمق مناسب زهکش‌ها برای شرایط چند کشتی در پاکستان را ۲/۲ متر اعلام کردند.

ملاحظات و چالش‌های تعیین عمق زهکش‌ها

خطرات زیست‌محیطی زهکشی

هر چند که زهکشی کنترل شده در دهه ۱۹۸۰ معرفی شده بود، اما تا دهه ۱۹۹۰، مدیریت زهاب کمتر مورد توجه قرار می‌گرفت. تحقیقات زهکشی عموماً به مسائل طراحی گرایش داشت و ارزیابی طرح‌ها نیز عمدتاً بر عملکرد سیستم‌های موجود و موارد مرتبط با ضوابط طراحی آنها سر و کار داشت (Snellen, 1997). پس از کنفرانس سران جهان[2] در سال ۱۹۹۲، مجامع بین‌المللی آبیاری و زهکشی توجه خود را بر مدیریت زهاب‌ها متمرکز کردند. بیانیه این اجلاس نه تنها بر نیاز به زهکشی به عنوان مکملی اساسی جهت توسعه آبیاری در نواحی خشک و نیمه خشک تاکید می‌کند، بلکه به طور همزمان بر حفاظت و استفاده مجدد از آب در قالب «مدیریت جامع منابع» تأکید دارد (Weiss, 1992).

چالش اصلی در برابر استفاده مجدد، شوری زهاب است. به‌هرحال زهاب را هرگز نمی‌توان کاملاً به مصرف رساند، زیرا نمکی که به همراه آب آبیاری وارد شده است باید به بیرون منطقه رانده شود (Sharifipour *et al*., 2019; Ritzema, 2016; Ritzema and Braun, 2006). ولی تا جایی که آب زهکشی شده از یک مزرعه یا یک پروژه، برای یک گیاه مقاوم به شوری قابل استفاده و مفید باشد، می‌تواند قبل از دفع نهایی مجدداً برای آبیاری مورد استفاده قرار گیرد (Rhoades *et al*., 1989; Rhoades *et al*., 1977). البته شوری زهاب تنها ناشی از نمک-های حل شده در آب آبیاری نیست. در مناطقی با آب زیرزمینی

1. United States Bureau of Reclamation (USBR)
2. Earth Summit

www.SID.ir

Archive of SID

شور و کم‌عمق (مانند جنوب خوزستان) بخش عمده‌ای از شوری زهاب، ناشی از ترکیب آب زیرزمینی شور با آب زهکشی شده در طول فرآیند زهکشی است (Sharifipour *et al*., 2013). Christen *et al*. (2001) گزارش کردند که حتی پس از آبشویی ناحیه ریشه از نمک‌ها، نمک تخلیه شده توسط سامانه‌های زهکشی زیرزمینی اجرا شده در استرالیا در بیشتر موارد ۱۰-۵ برابر نمکی است که با آب آبیاری وارد مزارع می‌شود. این امر نشان می‌دهد که این سامانه‌های زهکشی، همانطور که نمک همراه با آب آبیاری را تخلیه می‌کنند، نمک‌های موجود در زمین را نیز تخلیه می‌نمایند. این نمک‌ها عمدتاً زیر ناحیه ریشه هستند و تخلیه آن‌ها سودی برای گیاه ندارد.

مطالعات Hornbuckle and Christen (1999) در اراضی فاریاب جنوب شرقی استرالیا نشان داد که شوری خاک عموماً در اعماق بیشتر افزایش پیدا می‌کند، به شکلی که نمک تجمع یافته در عمق ۲-۱ متری خاک تا چهار برابر بیشتر از لایه‌ی بالایی است. تحقیقات Ayars *et al*. (1999) و Guitjens *et al*. (1997) نیز وجود روند مشابهی را در اراضی تحت آبیاری نواحی خشک و نیمه‌خشک تأیید می‌کند. خطوط جریان آب به سمت زهکش‌های زیرزمینی، که خود تابع عمق و فاصله زهکش‌ها هستند، تاثیر زیادی بر شوری زهاب دارند (Jury, 1975a,b). در زهکش‌های کم‌عمق‌تر و با فاصله کمتر، خطوط جریان آب به سمت زهکش‌ها سطحی‌تر هستند. با توجه به اینکه شوری آبِ خاک در اعماقِ بیشتر افزایش می‌یابد، شوری زهاب تخلیه شده توسط زهکش‌های کم‌عمق‌تر، کمتر خواهد بود. تخلیه نمک از اعماق پایین‌تر از عمق ریشه به‌وسیله زهکش‌های عمیق، در شبکه‌های آبیاری و زهکشی خوزستان نیز گزارش شده است (Akram *et al*., 2013). علاوه بر آن زهکشی کم‌عمق، به دفع زهاب کمتری هم منجر خواهد شد.

آسیب‌های زیست‌محیطی زهکشی، منحصر به بارِ نمک زهاب نیست. مطالعات نشان می‌دهند که نیترات تخلیه شده از طریق سامانه‌های زهکشی زیرزمینی، منبع اصلی نیترات درآب‌های سطحی است (David *et al*., 1997; Jaynes and Colvin, 2006). شبیه‌سازی انجام شده در خاک‌های لوم شنی در ایالت کارولینای شمالی آمریکا، بیانگر این است که در زهکش‌های کم‌عمق‌تر، شستشوی نیترات کمتری نیز رخ می‌دهد (Skaggs and Chescheir, 2003).

بدین ترتیب مشخص است که با افزایش عمق زهکش‌ها، زهاب حجیم‌تر، شورتر و آلوده‌تر شده و مدیریت آن دشوارتر خواهد شد. در هر صورت دفع ایمن و بی‌خطر زهاب، چالش نهایی است که هر سامانه زهکشی، برای آنکه بتواند بخشی از مدیریت پایدار منابع آب باشد، باید با آن روبرو گردد. هر چقدر زهاب تولید شده توسط سامانه زهکشی شورتر، آلوده‌تر و حجیم‌تر باشد، مواجه شدن با این چالش دشوارتر خواهد بود. بنابراین تا آنجا که به محیط‌زیست مربوط است، هر چه کم‌عمق‌تر، بهتر.

تهویه محیط ریشه

اغلب محصولات زراعی و باغی در شرایطی که سطح ایستابی پایین‌تر از منطقه فعالیت ریشه‌ها قرار دارد، به خوبی رشد و نمو می‌نمایند. هر چند که اگر سطح ایستابی برای مدت کوتاهی در حوزه گسترش ریشه‌ها نفوذ نماید، تاثیر سوء محسوسی بر عملکرد نخواهد داشت. در زراعت‌های آبی، سطح ایستابی با آب نفوذی ناشی از آبیاری یا بارندگی، افزایش یافته و با زهکشی و تبخیر و تعرق افت می‌کند. یکی از اهداف احداث شبکه زهکشی این است که خیز سطح ایستابی، محدودیت قابل توجهی برای کشت ایجاد نکند. عمق مطلوب سطح ایستابی تابعی از نوع خاک، آب و هوا، نوع و ترکیب کشت و روش آبیاری است. در جدول (۱) عمق مورد نیاز و مطلوب کنترل سطح ایستابی برای طراحی با روش جریان ماندگار و غیرماندگار آورده شده است. در مواردی که از قطعه زمین معینی برای ترکیبی از کشت‌های مختلف استفاده می‌شود، بیشترین عمق را باید انتخاب کرد. بدون توجه به سایر مسائل، عمق نصب زهکشی برای حفظ شرایط تخلیه خاک از بیشینه دو رابطه زیر بدست می‌آید (FAO, 1980):

$$Min\mathrm{W}_1 = \mathrm{C} + \frac{Dp}{2\mathrm{S}} + 0.1 \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

$$Min W_2 = C' + \frac{Dp}{S} + 0.1 \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

که در آن: Min W_1: حداقل عمق نصب زهکش برای استفاده در فرمول‌های جریان ماندگار (متر)، Min W_2: حداقل عمق نصب زهکش برای استفاده در فرمول‌های جریان غیرماندگار (متر)، C: عمق تثبیت سطح ایستابی برای جریان‌های ماندگار (از جدول ۱)، C': عمق تثبیت سطح ایستابی برای جریان‌های غیرماندگار (از جدول ۱)، D_P: میزان نفوذ عمقی در هر آبیاری (متر)، و S: آبدهی ویژه هستند.

در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عمق آب زیرزمینی باید توسط سامانه زهکشی به‌گونه‌ای تنظیم شود که حداکثر استفاده توسط گیاه از آب زیرزمینی صعود کرده توسط جریان مویینگی فراهم شود و در عین حال موجب تجمع شوری در ناحیه ریشه نگردد (Hendrickx *et al*., 1990; Prathapar and Qureishi, 1999). به‌همین جهت تعیین عمق بهینه سطح ایستابی که تولید محصول را به حداکثر برساند و شوری خاک را هم در محدوده‌ای قابل پذیرش نگه دارد، وابسته به نوع گیاه (نیاز آبی، عمق ریشه، حساسیت به شوری و ماندابی)، رژیم آبیاری و ویژگی‌های سامانه زهکشی است. پویایی و برهم‌کنش این عوامل موجب شده است

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین عمق بهینه سطح ایستابی، توسط محققین مختلفی مورد پژوهش قرار گیرد. از جمله Qureshi *et al.* (2011) با استفاده از مدل SWAP عمق سطح ایستابی مناسب را برای محصول پنبه در جنوب ازبکستان، همراه با تغییر در رژیم آبیاری، ۲۰۰ سانتی-متر برآورد کردند. البته باید در نظر داشت که خاک‌ها در برخی مناطق آسیای میانه، از جمله ازبکستان، لسی یا بادرفتی است و به دلیل همین شرایط استثنایی، عمق کارگذاری زهکش‌ها بین ۲/۵ تا ۳/۵ متر است. Xu *et al.* (2013) نیز به‌همین منظور مدل SWAP را به‌کار گرفتند و عمق بهینه سطح ایستابی را برای تولید محصول گندم در بالادست حوضه رود زرد در چین، در طول فصل رشد، ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتی‌متر برآورد کردند.

در ایران Nazari *et al.* (2008) به‌کمک مدل DRAINMOD-Sعمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی در مزارع نیشکر جنوب خوزستان را، با درنظر گرفتن ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی، ۱/۵ متر برآورد کردند. Akram and Lotfi (2015) ضمن مرور مسائل موثر بر تعیین عمق زهکش‌های زیرزمینی در خوزستان، عمق مناسب زهکش‌ها را در جنوب این دشت ۱/۸ متر برآورد کردند.

جدول ۱- کمینه عمق تثبیت سطح ایستابی برای گیاهان و خاک‌های مختلف (FAO, 1980)

نوع گیاه	خاک سنگین قابل نفوذ (متر)		خاک سبک (متر)		خاک متوسط با تامین آب نامطمئن توام با کم آبیاری (متر)	
	جریان ماندگار	جریان غیرماندگار	جریان ماندگار	جریان غیرماندگار	جریان ماندگار	جریان غیرماندگار
زراعی	۱/۲	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۱/۴	۱/۲
سبزیجات	۱/۱	۰/۹	۱/۰	۰/۹	۱/۳	۱/۱
درختان	۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱/۱	۱/۶	۱/۴

زهکشی و کنترل شوری

زهکشی زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه‌خشک در مقایسه با نواحی مرطوب از بسیاری جنبه‌ها متفاوت است. هدف زهکشی در نواحی مرطوب کنترل شرایط آبِ خاک برای تهویه بهتر، امکان‌پذیری کار روی زمین و تأثیر بر رژیم حرارتی خاک است در حالی که هدف اصلی زهکشی در نواحی خشک و نیمه‌خشک کنترل شوری خاک است (Boumans and Vos, 1987). اثر اسمزی ناشی از نمک اضافی موجود در محلول خاک بر رشد گیاهان تاثیر سوء دارد و سمیت ناشی از بعضی عناصر خاص آن را تشدید می‌کند. شوری همچنین می‌تواند بر تغییر خواص فیزیکی خاک مؤثر باشد. در گذر زمان، شوری می‌تواند به حدی برسد که مانع از جوانه‌زنی و رشد رویشی شده و کیفیت و کمیت محصولات را پایین آورد و در نهایت قابلیت کشت را در اراضی از بین ببرد (Wallender and Tanji, 2011).

تفاوت زیادی بین آمار ارائه شده از شوری اراضی تحت آبیاری در ایران در گزارش‌های مختلف وجود دارد. این احتمالاً به دلیل فاصله زمانی تهیه گزارش‌ها و تغییر مساحت اراضی تحت آبیاری در این فاصله، و همچنین تغییر اراضی متاثر از شوری است. به هر حال با توجه به جدول (۲)، در هیچ زمانی مقدار اراضی شور تحت آبیاری، کمتر از ۳۰ درصد کل اراضی تحت آبیاری نبوده است. گزارش‌های سال‌های اخیر حاکی از این است که مقدار این اراضی به ۵۰ درصد افزایش پیدا کرده است (Cheraghi, 2001).

جدول ۲- وسعت اراضی فاریاب متاثر از شوری در ایران در مطالعات مختلف (به نقل از Qadir *et al.*, 2008)

منبع	کل اراضی تحت آبیاری (میلیون هکتار)	اراضی شور تحت آبیاری (میلیون هکتار)	درصد اراضی شور تحت آبیاری به کل اراضی فاریاب
ICID (1977)	۴/۰۰	۱/۵۰	۳۸
FAO (1989)	۵/۷۴	۱/۷۲	۳۰
Ghassemi *et al.* (1995)*	۵/۷۴*	۲/۲	۳۸
ICID (2002)	۸/۱۰	۴/۰۵	۵۰

* سطح اراضی تحت آبیاری براساس مطالعات FAO (1989) بوده است.

به جز مناطق معدودی که نمک به وسیله رسوبات بادی به آنجا حمل شده، شوری اراضی تحت آبیاری تحت تأثیر دو عامل است؛ ۱) نمکی که همراه با آب آبیاری وارد می‌شود و ۲) نمکی که همراه با صعود مویینگی از آب زیرزمینی شور و کم‌عمق وارد ناحیه ریشه می‌شود. با در نظر گرفتن نیاز آبشویی مناسب، که با راندمان‌های فعلی آبیاری (به ویژه در سامانه‌های آبیاری سطحی) عمدتاً بیش از اندازه هم تأمین می‌شود، نمک وارد شده با آبیاری، با نفوذ عمقی به زیر ناحیه ریشه رفته و به همراه زهاب توسط

www.SID.ir

Archive of SID

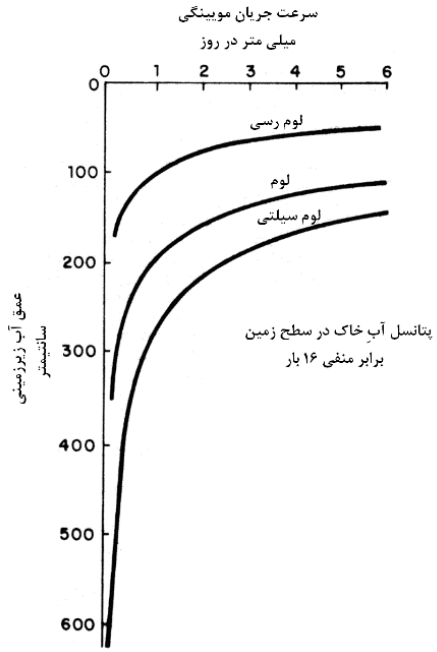
سامانه زهکشی تخلیه می‌شود. ملاحظات عمق نصب زهکش‌ها برای کنترل شوری نوع اول، چندان متفاوت از الزامات تهویه و جلوگیری از ماندابی ناحیه ریشه نیست. ولی کنترل شوری نوع دوم کاملاً متفاوت است، زیرا زمانی رخ می‌دهد که اصولاً جریان آب از بالا (آبیاری یا بارندگی) وجود ندارد.

عمق طراحی زهکش‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید به‌گونه‌ای باشد که سطح آب زیرزمینی را در موقعیتی حفظ کند که از آسیب‌های ناشی از ماندابی و جریان موییینگی جلوگیری شود. هر کدام از این دو متعلق به یک دوره بحرانی متفاوت است؛ ماندابی در دوره آبیاری و موییینگی در دوره آیش. بنابراین ضوابط و معیارها برای تعیین عمق زهکش‌ها در این مناطق، باید دربرگیرنده دو دیدگاه جداگانه باشد؛ کنترل ماندابی در دوره آبیاری و کنترل موییینگی در دوره آیش.

شوری خاک در اثر جریان موییینگی

در فصل بدون آبیاری و یا در زمان آیش زمین، که جریان رو به پایین ناشی از نفوذ عمقی وجود ندارد، آب و املاح با نیروی موییینگی از آب زیرزمینی کم‌عمق به سمت بالا حرکت می‌کنند. آب خالص از سطح خاک تبخیر و یا توسط گیاه تعرق می‌شود، و نمک در لایه بالایی ناحیه ریشه تجمع پیدا می‌کند. این فرآیند یکی از مهمترین عوامل شوری اراضی در مناطق خشک و نیمه-خشکی است که آب زیرزمینی کم‌عمق دارند (Tanji, 1990; Rengasamy, 2006). به همین دلیل رابطه‌ی آب زیرزمینی کم-عمق و شوری خاک، هدف تحقیقات متعددی بوده است (Salama *et al*., 1999; Northey *et al*., 2006; Yang *et al*., 2011; Yang *et al*., 2016; Haj-Amor *et al*., 2017a,b).

جریان موییینگی با فرض عدم تغییر در سطح آب زیرزمینی: سرعت تجمع نمک در سطح خاک به‌سبب جریان موییینگی تابع عواملی مانند: نوع خاک، عمق سطح ایستابی، غلظت نمک در آب زیرزمینی، مدیریت آبیاری و گرادیان آبِ خاک است (Ayers and Westcot, 1985). شکل (۱) رابطه بین سرعت جریان موییینگی و عمق آب زیرزمینی را در سه نوع خاک مختلف نشان می‌دهد. Van Hoorn (1979) این نمودار را با استفاده از داده‌هایی که Rijtema (1969) منتشر کرده بود، ارائه کرد. این نمودار با فرض عدم تغییر در سطح آب زیرزمینی و افزایش تدریجی مکش خاک از صفر در سطح آب زیرزمینی تا منفی ۱۶ بار در سطح خاک، تقریباً معادل فشار آب خاک در نقطه پژمردگی دائم، ترسیم شده است. با این فرضیات در یک دوره آیش شش ماهه، در یک خاک لوم رسی که عمق آب زیرزمینی در آن یک متر، یا در یک خاک لومی که عمق آب زیرزمینی در آن ۱/۹۵ متر، یا در یک خاک لوم سیلتی که عمق آب زیرزمینی در آن ۲/۸۵ متر است، مقدار صعود موییینگی در حدود ۱۸۰ میلی‌متر خواهد بود که کاملاً قابل توجه است. این مقادیر همچنان نشان می‌دهد که با افزایش مقدار سیلت، مقدار صعود موییینگی افزایش می‌یابد. شوری خاک در اثر جریان موییینگی در فصل بدون آبیاری، که جریان رو به پایین ناشی از نفوذ عمقی وجود ندارد، روی می‌دهد. در چنین حالتی جایگزینی آب تبخیر شده، یا با جریان نشتیِ ورودی به منطقه یا با جریان روبه‌بالای آب زیرزمینی امکان‌پذیر است.



شکل ۱- رابطه بین سرعت جریان موییینگی و عمق آب زیرزمینی در سه نوع خاک (Van Hoorn, 1979)

جریان موییینگی با فرض افت سطح آب زیرزمینی: اگر آب زیرزمینی با نشت تغذیه نشود، جریان موییینگی سبب نزول سطح ایستابی خواهد شد. سطح ایستابی پایین‌تر منجر به کاهش جریان موییینگی می‌شود، و در نهایت سطح ایستابی به عمقی خواهد رسید که مقدار این جریان در آن صفر خواهد بود. شکل (۲) نمایانگر تخلیه رطوبت خاک به‌وسیله جریان موییینگی در شرایط سطح ایستابی نزول کننده است. این شکل نشان می‌دهد که تنها بخش کوچکی از آب تبخیر شده، از نیمرخ خاک زیر سطح ایستابی اولیه تأمین شده است.

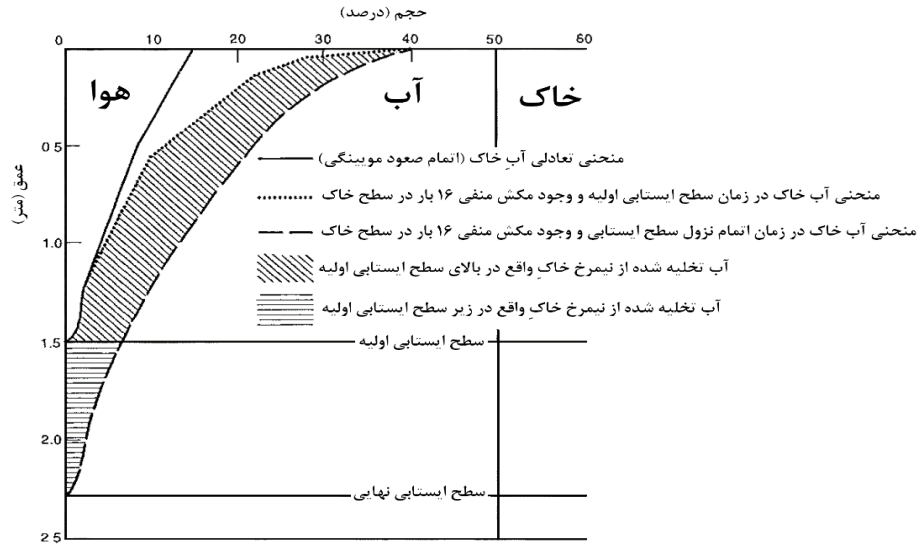
برای سه نوع خاک نشان داده شده در شکل (۱)، نزول سطح ایستابی و میزان صعود موییینگی (با همان فرض افزایش تدریجی مکش تا سطح خاک) در یک دوره شش ماهه محاسبه و در جدول (۳) ارائه شده است (Ritzema, 2006). نتایج بیانگر تفاوت روشنِ میزان صعود موییینگی در انواع مختلف خاک است.

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین هر چه قدر سطح ایستابی اولیه عمیق‌تر بوده، میزان صعود مویینگی هم کمتر بوده است.

سرعت جریان مویینگی، نزول سطح ایستابی و مجموع صعود مویینگی در عمل از مقادیر ارائه شده در شکل (۱) و جدول (۳) کمتر است، چراکه فرض افزایش تدریجی مکش تا سطح خاک به‌دلیل ایجاد "خاک‌پوشه" در بسیاری موارد تحقق پیدا نخواهد کرد. اگر میزان تبخیر از سطح خاک شدید باشد، درصد رطوبت خاک کاهش یافته و خاک نیروی مکش شدیدی پیدا خواهد کرد که سبب افزایش صعود مویینگی می‌شود. ولی در اثر خشک شدن خاک، هدایت مویینگی[۲]آن کاهش خواهد یافت و در نتیجه از مقدار جریان مویینگی به حد زیادی کاسته می‌شود. چنانچه نرخ تبخیر از سرعت جریان مویینگی افزون‌تر باشد، جریان مویینگی قادر به جایگزینی آب تبخیر شده از لایه بالایی خاک نخواهد بود. در نتیجه یک لایه بسیار خشک در سطح خاک به وجود می‌آید که چون هدایت مویینگی آن کم است، مقدار جریانی که می‌تواند از آن عبور کند بسیار ناچیز خواهد بود. این لایه که به آن لایه خاک‌پوشه گفته می‌شود، عملاً باعث گسیخته شدن جریان بین فازهای بخار و مایع شده و جریان مویینگی را متوقف می‌کند (Menenti, 1984; Bastiaanssen *et al*., 1989; Asghar, 1996; Gowing and Asghar, 1996; konukcu *et al*., 2004; Rose *et al*., 2005; Gowing *et al*., 2006; Smedema *et al*., 2004). اگر سرعت جریان مویینگی از نرخ تبخیر بیشتر باشد، هدایت مویینگی محدودیتی در برابر این جریان به وجود نخواهد آورد، ولی مقدار تبخیر از خاک، محدود به نرخ تبخیر خواهد بود. بنابراین ممکن است در عمل میزان نزول سطح ایستابی و مقدار صعود مویینگی از مقادیر ارائه شده در جدول (۳) و شکل (۱) کمتر باشد، مگر این که سرعت مویینگی و نرخ تبخیر یکسان باشند (Van Hoorn and Van Alphen, 2006).



شکل ۲- جابجایی آب خاک توسط جریان مویینگی در شرایط سطح ایستابی نزول کننده (Van Hoorn, 1979)

جدول ۳- نزول سطح ایستابی و میزان صعود مویینگی در یک دوره آیش شش ماهه (Ritzema, 2006)

عمق سطح ایستابی اولیه (m)	بافت خاک	نزول سطح ایستابی (m)	سرعت متوسط جریان مویینگی (mm/d)	مجموع مویینگی (mm)	صعود	مقدار صعود جریان مویینگی از زیر سطح ایستابی اولیه (mm)
	لوم رسی	۰/۹۰	۰/۳	۵۰		۲۵
۱/۰۰	لومی	۱/۳۰	۱/۳	۲۳۰		۷۵
	لوم سیلتی	۱/۹۰	۲/۰	۳۵۰		۱۴۰
	لوم رسی	۰/۵۰	۰/۲	۳۵		۱۰
۱/۵۰	لومی	۰/۸۵	۱/۰	۱۷۰		۳۰
	لوم سیلتی	۱/۴۵	۱/۷	۳۰۰		۷۰
	لوم رسی	۰/۲۵	۰/۱	۲۰		۵
۲/۰۰	لومی	۰/۵۵	۰/۷	۱۲۰		۱۰
	لوم سیلتی	۱/۰۵	۱/۳	۲۳۰		۳۰

2- Capillary Conductivity
1- Mulch

www.SID.ir

Archive of SID

کنترل شوری خاک در اثر جریان مویینگی و مفهوم عمق بحرانی سطح ایستابی

به‌صورت تئوری، شور شدن مجدد خاک در اثر صعود مویینگی، با توجه به نوع خاک، می‌تواند از اعماق متفاوتی رخ دهد Talsma, (1963) . چنانچه سامانه‌ی زهکشی کم‌عمق باشد، پتانسیل صعود شوری توسط جریان مویینگی رو به بالا افزایش خواهد یافت. ولی مناطقی که به صورت دائم تحت آبیاری هستند و جریان آب و املاح در خاک از بالا به پایین است، نگرانی از بابت شور شدن خاک در اثر جریان مویینگی وجود ندارد. به همین دلیل سامانه‌های زهکشی کم‌عمق، شبیه مناطق مرطوب، در این مناطق از کارآیی خوبی برخوردارند. به دلیل همین تفاوت اصولی است که Qureshi *et al*. (2013) برای اراضی کشاورزی مناطق خشک که در تمام سال زیر کشت هستند زهکش‌هایی با عمق ۱/۵ متر، و برای اراضی که به صورت فصلی کشت می‌شوند، زهکش‌هایی با عمق ۲/۰ متر پیشنهاد کردند.

به عنوان نمونه در دلتای رود نیل در مصر اراضی بدون دوره آیش به صورت دائم زیر کشت قرار دارند و برنج بخشی از تناوب زراعی است. به دلیل آبیاری دائم، جریان آب و املاح همواره از بالا به پایین است و به همین دلیل شوری مشکل بزرگی ایجاد نمی‌کند و زهکش‌های زیرزمینی در عمق نسبتاً کمتری (۱/۲ تا ۱/۵ متری) نصب می‌شوند. نتایج به دست آمده از یک مزرعه تحقیقاتی در مصر نشان داد که برای تأمین نیازهای تهویه‌ای گیاه، در نظر گرفتن عمق ۰/۸ متر برای آب زیرزمینی کفایت می‌کند (Abedl-Dayem and Ritzema, 1990). پژوهش دیگری نشان داد برای حفظ سطح ایستابی در این عمق، اقتصادی‌ترین راهکار نصب زهکش‌ها در عمق ۱/۲ تا ۱/۴ متری است (Nijland, 2000).

در هندوستان مطالعات میدانی به همراه شبیه‌سازی توسط مدل SALTMOD نشان داد که عمق زهکش‌ها می‌تواند تا ۰/۹-۱/۰ متر هم کاهش پیدا کند (Srinivasulu *et al*., 2004). Ritzema *et al*. (2008) پیشنهاد کردند که عمق توصیه شده ۱/۷۵ تا ۱/۴۰ متری برای زهکش‌های زیرزمینی در دشت‌های نیمه خشک رودخانه گنگ در ایالت هاریانای هندوستان (Rao *et al*., 1995; Van Achthoven *et al*., 2000)، که البته دارای خاک با بافت متوسط و ۷۰۰-۵۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه هستند) به ۱/۵۰ تا ۱/۱۰ کاهش یابد.

برای کنترل شوری در اراضی تحت آبیاری که در دوره‌ای از سال کشت نمی‌شوند، باید ضمن کنترل سطح ایستابی به کمک سامانه‌های زهکشی، شار خالص[1] نمک را از ناحیه ریشه دور نگه داشت. به همین دلیل مفهوم "عمق بحرانی سطح ایستابی" معرفی شد. عمق بحرانی سطح ایستابی، عمقی است که صعود مویینگی را در دوره آیش تقریباً به صفر برساند (Ritzema, 2006). یا به عبارت دیگر عمقی که اگر سطح ایستابی پایین‌تر از آن قرار گیرد، صعود آب و املاح با جریان مویینگی، موجب شوری نیمرخ زراعی خاک نشود (Saleh and Troeh, 1982).

به‌دست آوردن عمق بحرانی سطح ایستابی، موضوع پژوهش‌های مستقل بوده است. به‌عنوان مثال Yang *et al*. (2011) با توسعه یک مدل تجربی مبتنی بر مطالعات لایسیمتری، عمق بحرانی سطح ایستابی را در اراضی شور و سدیمی غرب دشت سونگون در مرکز چین، ۲/۵ متر برآورد کردند. Nulsen (1981) این عمق را در منطقه موسوم به کمربند گندم در غرب استرالیا برای پایداری تولید کشاورزی ۱/۸ -۱/۵ متر برآورد کردند.

Smedema *et al*. (2004) گزارش کردند که از نظر طراحی می‌توان مقادیر زیر را برای عمق بحرانی سطح ایستابی در خاک‌های مختلف در نظر گرفت:

خاک‌های شنی (از شن نرم تا شن درشت)	۵۰-۷۵ سانتی‌متر
خاک‌های لوم شنی نرم، سیلت لومی	۱۵۰-۲۰۰ سانتی‌متر
خاک‌های لومی، لوم رسی، رس	۱۰۰-۱۵۰ سانتی‌متر
خاک‌های شن لومی، لوم شنی	۱۰۰-۱۵۰ سانتی‌متر

همچنین اعلام کردند با توجه به این که جرم نمکی که از آب زیرزمینی به بالا منتقل می شود، حاصل‌ضرب دبی جریان در غلظت نمک است، با افزایش غلظت نمک باید مقدار عمق بحرانی افزایش داده شود. Sharifipour *et al*. (2015) با در نظر گرفتن همین توصیه‌ها، حداقل عمق زهکش‌ها را در ابتدای لوله برای جلوگیری از شور شدن خاک، در منطقه دشت آزادگان، ۱/۸ متر برآورد کردند. این پژوهشگران حداقل عمق مناسب نصب زهکش‌ها در این ناحیه را با هدف تهویه مناسب خاک ۱/۵ متر گزارش کردند.

Smedema (2007) با بررسی اعماق زهکشی برای کنترل شوری و ماندابی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان، عمق ۱/۲ تا ۲/۰ متر را به عنوان بازه نرمال برای نصب زهکش‌ها توصیه نموده، ولی همین محقق در گزارش خود تأکید کرده که اعماق بین ۱/۲ تا ۱/۵ متر برای مواردی توصیه می‌شوند که هیچ گونه خطر شوری را به وجود نیاورند. وی مناطق دارای اقلیم شدیداً خشک، آب زیرزمینی شور و خاک‌های داری کاپیلاری بالا را شدیداً مستعد شور شدن دانسته و برای این مناطق عمق بین ۱/۶ تا ۲/۰ را توصیه نموده است.

1- Net flux

www.SID.ir

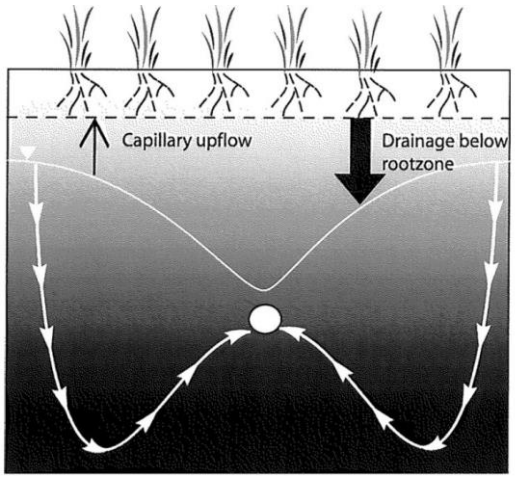
Archive of SID

یادآور می‌شود که تا آنجا که به محیط‌زیست مربوط است، هر چه کم‌عمق‌تر، بهتر. بنابراین در مناطق خشک و نیمه‌خشکی که فصل بدون آبیاری در آنها طولانی است، با دو معیار متفاوت برای برآورد عمق زهکش‌های زیرزمینی مواجه هستیم. برای فصل آبیاری، هدف عمدتاً تهویه خاک است و حداقل عمق لازم برای زهکش‌ها در آن کمتر است. در دوره بدون آبیاری، حداقل عمق لازم برای زهکش‌ها (برای کنترل شوری ناشی از جریان مویینگی) بیشتر است. این عمق بیشتر، به‌ویژه در مناطقی که جریان آب زیرزمینی شور در لایه‌های پایین‌تر وجود دارد، منجر به ایجاد زهاب شورتر و با حجم بیشتر می‌شود که تخلیه و دفع آن چالشی بزرگ است.

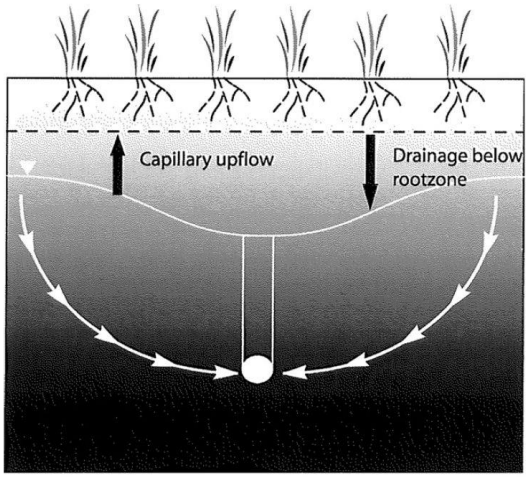
راهکارهای حل تعارض کنترل شوری و آسیب کمتر به محیط‌زیست

زهکشی کنترل شده

شاید بتوان گفت بهترین راهکار فائق آمدن بر تعارض کنترل شوری و آسیب کمتر به محیط‌زیست، البته بدون در نظر گرفتن هزینه‌ها و مشکلات فنی، زهکشی کنترل شده است. در این روش مدیریت سطح ایستابی با استفاده از یک سازه کنترل کننده در خروجی زهکشی انجام می‌شود. خطوط جریان به‌سمت لوله زهکش در شرایط زهکشی آزاد و کنترل شده به‌صورت مفهومی در شکل (۳) نشان داده شده است. در زهکشی آزاد خطوط جریان در عمق پروفیل خاک جریان پیدا می‌کنند و پس از اختلاط با آب زیرزمینی شور، وارد زهکش می‌شوند. این فرآیند شوری زهاب را به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. با کنترل سطح آب در سامانه زهکشی کنترل شده، خطوط جریان کم‌عمق‌تر هستند و در اعماقی از خاک جریان دارند که شوری آب زیرزمینی کمتر است. کاهش بار هیدرولیکی بین دو زهکش نیز مقدار زهاب خروجی را کاهش می‌دهد. این دو عامل، سبب کاهش قابل توجه بار نمک زهاب در زهکشی کنترل شده در مقایسه با زهکشی آزاد است (Ayars *et al*., 2006). بعد از اتمام فصل آبیاری و برداشت محصول، می‌توان سطح ایستابی را تا عمقی پایین برد که خطر بازگشت شوری به حداقل برسد.



شکل (۳- الف) خطوط جریان در زهکشی آزاد



شکل (۳- ب) خطوط جریان در زهکشی کنترل شده

شکل ۳- خطوط جریان به‌سمت لوله زهکش در زهکشی آزاد و کنترل شده (Ayars *et al*., 2006)

با زهکشی کنترل شده، می‌توان در فصل رشد سطح ایستابی را بالا نگه داشت تا ضمن استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم‌عمق، تخلیه زهابِ همراه با آلاینده‌های شیمیایی نیز کاهش پیدا کند (Ayars *et al*., 2006). استفاده گیاه از آب زیرزمینی کم‌عمق در پژوهش‌های بسیاری بررسی شده است. برای مثال Namken (1969) *et al*. دریافتند که سهم آب زیرزمینی، که در اعماق ۰/۹۱، ۱/۸۳ و ۲/۷۴ متری ثابت نگه داشته شده بود، به ترتیب ۵۴، ۲۶ و ۱۷ درصد از کل تبخیر و تعرق پنبه بوده است. این نشان می‌دهد که سهم جذب آب از آب زیرزمینی با افزایش عمق به شدت کاهش پیدا می‌کند. Ayars *et al*. (2009) هم گزارش دادند که آب زیرزمینی کم‌عمق ۵۰ درصد از کل تبخیر و تعرق یونجه را، در شرایطی که عمق آن ۱/۲ متر و شوری آن ۴dS/m بود، تأمین کرده است. هر چند استفاده از آب زیرزمینی می‌تواند نقش مؤثری در کاهش مصرف آب آبیاری داشته باشد، ولی با توجه به‌این که آب زیرزمینی کم‌عمق در اراضی فاریابِ مناطق خشک و نیمه‌خشک معمولاً شوری قابل توجهی دارد، می‌تواند به تجمیع نمک در ناحیه ریشه منجر شود (Rhoades, 1974; Shah *et al*., 2011; Karimov *et al*., 2014; Li *et al*., 2018).

www.SID.ir

Archive of SID

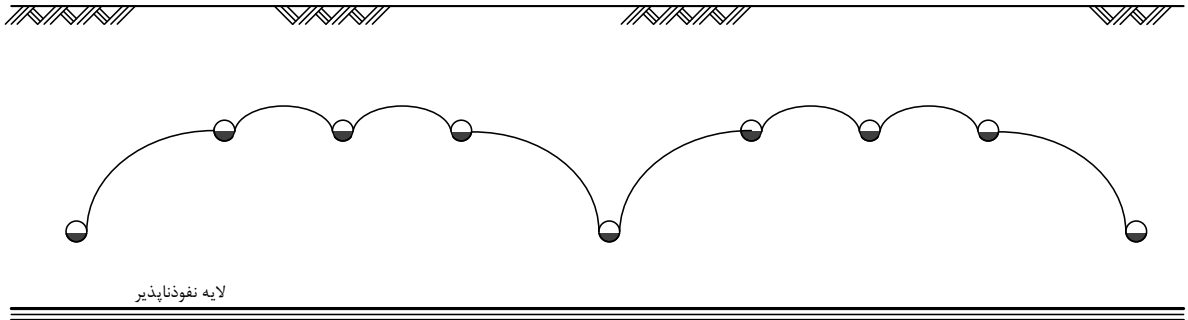
پژوهش‌های متعدد نشان داده است که زهکشی کنترل شده در کاهش بار نیترات ورودی به پیکره‌های آبی بسیار مؤثر است (Evans *et al*., 1995; Fausey, 2004; Frankenberger *et al*., 2004; Singh *et al*., 2007; Adeuya *et al*., 2012; Gunn *et al*., 2015; Williams *et al*., 2015; Saadat *et al*., 2018). در ایران هم پژوهش‌های متعددی اثر زهکشی کنترل شده را بر شدت زهکشی و بار نیتروژن زهاب (Sadeghi Lari *et al*., 2013; Sadeghi Lari *et al*., 2014)، شوری خاک و بار نمک زهاب (Mahjoubi *et al*., 2013; Davoodi *et al*., 2018) و کاستن از مقدار زهاب (Mahjoubi *et al*., 2014; Javani *et al*., 2018) مثبت ارزیابی کرده‌اند. با این حال هزینه نصب تجهیزات و سازه‌های لازم برای سامانه‌های زهکشی کنترل شده و همچنین مشکلات مدیریتی بهره‌برداری و نگهداری سبب شده است تا اجرا و بهره‌برداری از این نوع سامانه‌ها در ایران و سایر کشورهای درحال توسعه، تا کنون در حد طرح‌های تحقیقاتی باقی بماند.

قطع لوله‌های مویین در فصل بدون‌آبیاری

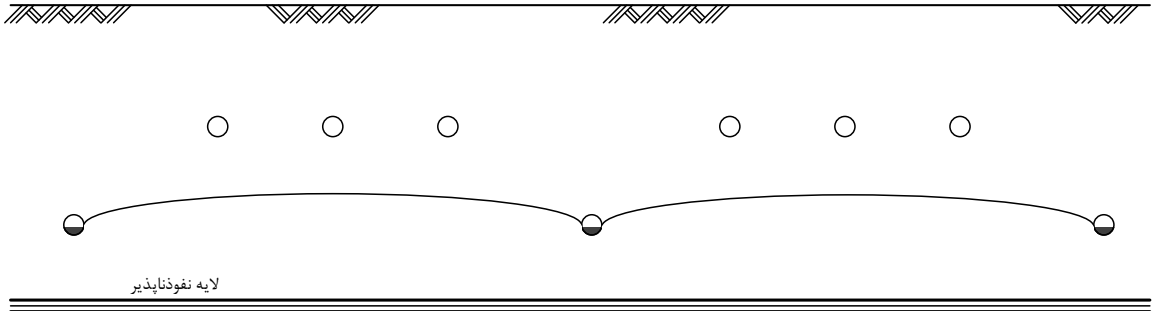
شاید ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین راهکار حل تعارض کنترل شوری و حفظ محیط‌زیست، قطع لوله‌های مویین در فصل بدون‌آبیاری است. شخم‌زدن خاک و یا هرگونه عملیات خاکورزی که موجب قطع لوله‌های مویین شود، جریان موییننگی را به شدت کاهش خواهد داد. شخم زدن پس از برداشت، هرچند پسماند زراعی را به خاک برمی‌گرداند و موجب قطع لوله‌های مویین می‌شود، اما اثر جانبی دیگری نیز دارد؛ محتوای مواد آلی خاک را در برابر نور آفتاب قرار می‌دهد. مواد آلی خاک، هم در اثر تابش آفتاب و هم در اثر گرمایی که ایجاد می‌کنند، با سرعت زیاد اکسید می‌شوند و خاک بدون پوششِ پس از برداشت و تابستان‌های گرم، طولانی و روزبلند مناطق خشک و نیمه‌خشک، فرآیند اکسیده شدن آن را تشدید می‌کنند (Moorhead and Callaghan, 1994; Reicosky *et al*., 1995; Varadachari *et al*., 2017). درصد مواد آلی خاک در این مناطق زیاد نیست و معدنی شدن کربن آلی خاک بر حاصلخیزی این اراضی اثر منفی خواهد گذاشت.

زهکش‌های دوعمقی

چنانکه در مقدمه بیان شد، شوری زهابِ زهکش‌های کم‌عمق کمتر است ولی زهکش‌های عمیق‌تر در کنترل شوری توفیق بیشتری دارند. یکی از راهکارهای قابل پیشنهاد برای کم‌کردن بار نمک زهاب و نیز جلوگیری از شورشدن مجدد خاک، سامانه زهکشی دوعمقی است (شکل ۴). در این سامانه‌ها آبی که توسط زهکش‌های کم‌عمق تخلیه می‌شود، حجم آبی را که زهکش‌های عمیق تخلیه می‌کنند کاهش می‌دهد. بنابراین چون زهکش‌های کم‌عمق در خاکی با شوری کمتر نصب شده‌اند، در عین حال که کل آب زهکشی شده ثابت است، خطوط جریان از عمق کمتری به سمت آن‌ها حرکت می‌کنند، پس بار نمک خارج شده توسط آنها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت (Hornbuckle *et al*., 2007). سطح ایستابی در فصل بدون آبیاری (بدون تغذیه)، به تراز زهکش‌های عمیق‌تر نزول می‌کند و پتانسیل شور شدن مجدد به وسیله خیز موییننگی کاهش می‌یابد (شکل ۵).



شکل ۴- سطح ایستابی در سامانه زهکشی دوعمقی در فصل آبیاری



شکل ۵- سطح ایستابی در سامانه زهکشی دوعمقی در فصل بدون آبیاری

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۷۰ درصد اراضی تحت شبکه‌های آبیاری و زهکشی در جنوب خوزستان (به استثناء اراضی کشت نیشکر) کشت تابستانه ندارند. در نبود جریان رو به پایینِ ناشی از نفوذ عمقی و شدت تبخیر بالا در فصل تابستان، پتانسیل صعود نمک با جریان مویینگی از آب زیرزمینی شور و کم‌عمق، که بافت خاک سنگین منطقه نیز آن را تشدید می‌نماید، بسیار افزایش می‌یابد. در این شرایط، به‌نظر می‌رسد که وجود چنین سامانه‌ای بتواند سودمند باشد.

محققین روش‌های متفاوتی برای تحلیل جریان آب به سمت زهکش‌ها در سامانه‌های زهکشی دو عمقی پیشنهاد داده‌اند. از جمله DeBoer and Chu (1975) که دو معادله‌ی تحلیلی، یکی برای جریان ماندگار بر اساس فرضیات دوپویی و فورشهایمر و یک معادله برای جریان غیرماندگار با استفاده از تئوری‌های ارائه شده توسط Bouwer and Van Schilfgaarde (1963) ارائه داده‌اند.Verma *et al.* (1998) روش‌های ساده‌تری برای استفاده طراحان ارائه کردند که البته کارایی و صحت روش آنها دو سال بعد توسط Kacimov (2000) نقد شد. جدیدترین پژوهش انجام شده در این زمینه، راه حل تحلیلی ارائه شده توسط Hornbuckle *et al.* (2011) است. این پژوهشگران از قالب آرایش کلاسیک یک در میان برای زهکش‌های کم‌عمق و عمیق فراتر رفتند و شرایط را برای پذیرش آرایش‌هایی شامل تعداد بیشتری زهکش کم‌عمق بین زهکش‌های عمیق توسعه دادند. نتایج بررسی‌های ایشان نشان داد که افزایش تعداد زهکش‌های کم‌عمق مابین زهکش‌های عمیق، منجر به افزایش سهم زهاب خارج شده توسط زهکش‌های کم‌عمق خواهد شد.

برآورد فاصله و عمق زهکش‌ها در سامانه زهکشی دو عمقی

در شرایطی که آب زیرزمینی با نشت تغذیه نشود و یا جریان روبه‌بالای آب زیرزمینی وجود نداشته باشد، سطح ایستابی در فصل غیرآبیاری به تراز زهکش‌های عمیق‌تر نزول خواهد کرد. بنابراین عمق این زهکش‌ها باید با توجه به ارتفاع مویینگی بحرانی تعیین شود. فاصله زهکش‌ها وابسته به زمانی است که می‌توان در اختیار سامانه قرار داد تا فرونشست سطح ایستابی انجام شود و با استفاده از معادلاتی مانند گلاوردام قابل برآورد است.

اصولاً مقدار جریان نشتی، بخشی از ضریب زهکشی است (Tanji and Kielen, 2002). در شرایطی که در فصل غیرآبیاری جریان نشتی به منطقه وجود داشته باشد، می‌توان جریان نشتی را به‌عنوان ضریب زهکشی منظور کرد و با در نظر گرفتن عمق زهکش‌ها با توجه به ارتفاع مویینگی بحرانی، فاصله زهکش‌های عمیق‌تر را با استفاده از معادلات زهکشی در حالت ماندگار محاسبه نمود.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

زهکشی زیرزمینی در نواحی خشک و نیمه‌خشک در مقایسه با نواحی مرطوب از بسیاری جنبه‌ها متفاوت است. هدف زهکشی در نواحی مرطوب کنترل شرایط آبِ خاک برای تهویه بهتر، امکان‌پذیری کار روی زمین و تأثیر بر رژیم حرارتی خاک است در حالی که هدف اصلی زهکشی در نواحی خشک و نیمه‌خشک، کنترل شوری خاک است. شوری اراضی تحت آبیاری تحت تأثیر دو عامل عمده است؛ ۱) نمکی که همراه با آب آبیاری وارد می‌شود و ۲) نمکی که همراه با صعود مویینگی از آب زیرزمینی شور و کم‌عمق وارد ناحیه ریشه می‌شود. با راندمان‌های فعلی آبیاری (به ویژه در سامانه‌های آبیاری سطحی)، نفوذ عمقی ناشی از آبیاری عمدتاً بیشتر از نیاز آبشویی است، بنابراین نمک وارد شده با آبیاری، با نفوذ عمقی به زیر ناحیه ریشه رفته و به همراه زهاب توسط سامانه زهکشی تخلیه می‌شود. در نتیجه، ملاحظات عمق نصب زهکش‌ها برای کنترل شوری نوع اول، چندان متفاوت از الزامات تهویه و جلوگیری از ماندابی ناحیه ریشه نیست. ولی کنترل شوری نوع دوم کاملاً متفاوت است، زیرا زمانی رخ می‌دهد که اصولاً جریان آب از بالا به پایین (آبیاری یا بارندگی) وجود ندارد. در دوره بدون آبیاری، حداقل عمق لازم برای زهکش‌ها (برای کنترل شوری ناشی از جریان مویینگی) بیشتر است. به همین دلیل، هرچند سامانه‌های زهکشیِ کم‌عمق در کنترل ماندابی موفق عمل کرده‌اند، ولی با قطعیت نمی‌توان گفت که در مورد کنترل شوری هم مؤثر هستند. البته به‌استثناء مناطق خشک و نیمه‌خشکی که در تمام طول سال زیر کشت و تحت آبیاری هستند و جهت جریان آب و املاح در خاک، همواره از بالا به پایین است و سامانه‌های زهکشی کم‌عمق، شبیه مناطق مرطوب، در این مناطق از کارآیی خوبی برخوردارند. از سوی دیگر با افزایش عمق زهکش‌ها، زهاب سامانه‌های زهکشی حجیم‌تر، شورتر و آلوده‌تر خواهد بود. بنابراین چالش اصلی در تعیین عمق زهکش‌ها در مناطق خشک و نیمه‌خشک، عدم کارآیی زهکش-های کم‌عمق در کنترل شوری و افزایش مخاطرات زیست‌محیطی توسط زهکش‌های عمیق است.

شاید بهترین راهکار فائق آمدن بر تعارض کنترل شوری و آسیب کمتر به محیط‌زیست، زهکشی کنترل شده است. با این‌حال هزینه نصب تجهیزات و سازه‌های لازم برای این سامانه‌ها و همچنین مشکلات بهره‌برداری و نگهداری، سبب شده است تا اجرا و بهره‌برداری از آنها در کشورهای درحال توسعه، گسترش زیادی پیدا نکند. شاید به‌نظر برسد ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین

www.SID.ir

Archive of SID

راهکار حل مسئله، شخم‌زدن خاک و یا هرگونه عملیات خاک‌ورزی است که موجب قطع لوله‌های مویین شود. ولی شخم زدن پس از برداشت محصول، محتوای مواد آلی خاک را در برابر نور آفتاب قرار می‌دهد که با سرعت اکسید می‌شوند و این امر بر حاصلخیزی اراضی اثر منفی خواهد گذاشت. یک راهکار قابل پیشنهاد دیگر سامانه زهکشی دوعمقی است. در چنین سامانه‌ای، وظیفه کنترل سطح ایستابی در فصل آبیاری بیشتر بر عهده زهکش‌های کم‌عمق است. در فصل بدون آبیاری سطح ایستابی به تراز زهکش‌های عمیق‌تر نزول می‌کند و پتانسیل شور شدن مجدد به وسیله خیز مویینگی کاهش می‌یابد. روش‌های ارائه شده در این مقاله برای تعیین فاصله و عمق زهکش‌ها در چنین سامانه‌ای بیشتر در جهت مرور و برای روشن شدن موضوع است و این امر در هر منطقه، بسته به شرایط محیطی و سیستمی، نیاز به پژوهش‌های مستقل و ایجاد مناطق پایلوت دارد.

REFERENCES

Abdel-Dayem, S., & Ritzema, H. P. (1990). Verification of drainage design criteria in the Nile Delta, Egypt. *Irrigation and Drainage Systems*, *4*(2), 117-131.

Adeuya, R., Utt, N., Frankenberger, J., Bowling, L., Kladivko, E., Brouder, S., & Carter, B. (2012). Impacts of drainage water management on subsurface drain flow, nitrate concentration, and nitrate loads in Indiana. *Journal of Soil and Water Conservation*, *67*(6), 474-484.

Akram, M., Azari, A., Nahvi, A., Bakhtiari, Z., & Safaee, H. D. (2013). Subsurface drainage in Khuzestan, Iran: environmentally revisited criteria. *Irrigation and Drainage*, *62*(3), 306-314.

Akram, M., & Lotfi, A. (2015). Suitable depth of subsurface drainage in Khuzestan. First National Conference on Technical, Economic, Social and Environmental Dimensions of the 550,000-hectare Land Restoration Project in Khuzestan and Ilam. (In Persian)

American Society of Agricultural Engineers (ASAE). (2003). Design, Construction and Maintenance of Subsurface Drainage in Arid and Semi-arid Areas. Engineering Practice ASAE-EP 463.1. St Joseph, Mich. USA.

Asghar, M. N. (1996). *Computer simulation of salinity control by means of an evaporative sink* (Doctoral dissertation, University of Newcastle upon Tyne).

Ayars, J. E., Christen, E. W., & Hornbuckle, J. W. (2006). Controlled drainage for improved water management in arid regions irrigated agriculture. *Agricultural water management*, 86(1-2), 128-139.

Ayars, J. E., Hutmacher, R. B., Schoneman, R. A., Soppe, R. W. O., Vail, S. S., & Dale, F. (1999). Realizing the potential of integrated irrigation and drainage water management for meeting crop water requirements in semi-arid and arid areas. *Irrigation and Drainage Systems*, *13*(4), 321-347.

Ayars, J. E., Shouse, P., & Lesch, S. M. (2009). In situ use of groundwater by alfalfa. *Agricultural Water Management*, *96*(11), 1579-1586.

Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1985). *Water quality for agriculture* (Vol. 29). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bastiaanssen, W. G. M., Kabat, P., & Menenti, M. (1989). *A new simulation model of bare soil evaporation in arid regions (EVADES)* (No. 1938). ICW.

Boumans, J. H., & Vos, J. (1987). Drainage in arid regions. In *Proc., Symp. 25th Int. Course on Land Drainage: Twenty-Five Years of Drainage Experience* (Vol. 42, pp. 22-41). Publication.

Bouwer, H., & Van Schilfgaarde, J. (1963). Simplified method of predicting fall of water table in drained land. *Transactions of the ASAE*, *6*(4), 288-0291.

Bureau of Standards and Technical Criteria of Iran Water Resources Management Company. (2005). *Design parameters to determine the distance and depth of underground drainage*. Paper No. 319. (In Farsi)

Cheraghi, S. A. M. (2001, March). Institutional and scientific profiles of organizations working on saline agriculture in Iran. In *Prospects of saline agriculture in the Arabian Peninsula: Proceedings of the international seminar on prospects of saline agriculture in the GCC Countries* (Vol. 18, p. 20).

Christen, E. W., Ayars, J. E., & Hornbuckle, J. W. (2001). Subsurface drainage design and management in irrigated areas of Australia. *Irrigation Science*, *21*(1), 35-43.

Christen, W., & Skehan, D. (2001). Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt loads. *Journal of irrigation and drainage engineering*, *127*(3), 148-155.

David, M. B., Gentry, L. E., Kovacic, D. A., & Smith, K. M. (1997). Nitrogen balance in and export from an agricultural watershed. *Journal of environmental quality*, *26*(4), 1038-1048.

Davoodi, K., darzi, A., Aghajani- Mazandarani, G. (2018). Effect of Free and Controlled Drainage on Water Balance and Soil and Drainage Water Salinity under Rainfed Canola in Paddy Fields. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32.3(3), 367-382. (In Persian).

DeBoer, D. W., & Chu, S. T. (1975). Bi-level subsurface drainage theory. *Transactions of the ASAE*, *18*(4), 664-0667.

Evans, R. O., Wayne Skaggs, R., & Wendell Gilliam, J. (1995). Controlled versus conventional drainage effects on water quality. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *121*(4), 271-276.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 1989. Production Year Book. FAO: Rome; 350.

FAO, (2013). FAO Statistical Yearbook 2013, World.

www.SID.ir

Archive of SID

Food and Agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, pp. 289, Available at: http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e00.htm (accessed 21.07.13).

FAO. 1980. Drainage design factors. Irrigation and Drainage Paper No. 38, FAO, Rome.

Faures, J.-M., Svendsen, M., Turral, H., (2007). Water for food. In: David Molden (Ed.), Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. International Water Management Institute, Colombo, p. 354.

Fausey, N. R. (2004). Comparison of free drainage, controlled drainage, and subirrigation water management practices in an Ohio lakebed soil. In *2004 ASAE Annual Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.

Frankenberger, J., Kladivko, E., Sands, G., Jaynes, D. B., Fausey, N., Helmers, M. J., & Brown, L. C. (2004). Drainage water management for the midwest. Iowa State University, Digital Repository

Ghaemi, A. A., & Willardson, L. S. (1992). Salt movement in a shallow drained soil with an artesian pressure. *IN: Land Reclamation: Advances in Research & Technology. ASAE Publication 14-92. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, Michigan. 1992. p 101-109. 6 fig, 3 tab, 9 ref.*

Ghassemi, F., Jakeman, A. J., & Nix, H. A. (1995). Salinisation of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. CAB international.

Gowing, J. W., & Asghar, M. N. (1996). Computer simulation of salinity management by means of an evaporative sink (dry drainage). In *6th Drainage Workshop, Ljubljana (Slovenia), 21-29 Apr 1996*.

Gowing, J. W., Konukcu, F., & Rose, D. A. (2006). Evaporative flux from a shallow water table: the influence of a vapour–liquid phase transition. *Journal of hydrology*, *321*(1-4), 77-89.

Guitjens, J. C., Ayars, J. E., Grismer, M. E., & Willardson, L. S. (1997). Drainage design for water quality management: Overview. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *123*(3), 148-153.

Gunn, K. M., Fausey, N. R., Shang, Y., Shedekar, V. S., Ghane, E., Wahl, M. D., & Brown, L. C. (2015). Subsurface drainage volume reduction with drainage water management: Case studies in Ohio, USA. *Agricultural water management*, *149*, 131-142.

Haj-Amor, Z., Hashemi, H., & Bouri, S. (2017, a). Soil salinization and critical shallow groundwater depth under saline irrigation condition in a Saharan irrigated land. *Arabian Journal of Geosciences*, *10*(14), 301.

Haj-Amor, Z., Tóth, T., Ibrahimi, M. K., & Bouri, S. (2017, b). Effects of excessive irrigation of date palm on soil salinization, shallow groundwater properties, and water use in a Saharan oasis. *Environmental Earth Sciences*, *76*(17), 590.

Hanjra, M. A., Ferede, T. and Gutta, D. G. (2009). Pathways to breaking the poverty trap in Ethiopia: Investments in agricultural water, education, and markets. *Agricultural Water Management*, 96(11), 1596-1604.

Hendrickx, J. M. H., Chaudhry, M. A., Kijne, J. W., Sadiq, M., & Raza, Z. I. (1990). Soil physical measurements for drainage design in arid regions. In *Proceedings of Symposium on Land Drainage for Salinity Control in Arid and Semi-arid Regions, Cairo.* (No. 2, pp. 124-134). Drainage Research Institute, WRC (Ministry of Public Works and Water Resources).

Hermsmeier, L. F. (1973). Shallow drain performance in a heavy soil. *Transactions of the ASAE*, *16*(1), 92-0094.

Heuperman, A. F., Kapoor, A. S., & Denecke, H. W. (2002). *Biodrainage: principles, experiences and applications* (No. 6). Food & Agriculture Org.

Hornbuckle, J. W., & Christen, E. W. (1999). Physical properties of soils in the Murrumbidgee and Coleambally irrigation areas. CSIRO Land and Water.

Hornbuckle, J. W., Christen, E. W., & Faulkner, R. D. (2007). Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. *Agricultural water management*, *89*(3), 208-216.

Hornbuckle, J. W., Christen, E. W., & Faulkner, R. D. (2011). Analytical solution for drain flows from bi-level multiple-drain subsurface drainage systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *138*(7), 642-650.

ICID (International Commission on Irrigation and Drainage). (1977). *Iranian National Committee Report*. ICID Special Session, Tehran, May 1977. ICID, New Delhi; 13

ICID (International Commission on Irrigation and Drainage). 2002. Irrigation and Food Production Information about ICID Network Countries. Available at http://www.icid.org/index_e.html

Javani, H., Liaghat, A., Hassan Oghli, A., Nazari, B. (2018). The Effect of Controlled Drainage on Drainage Discharge, water Table and Water Productivity in Maghan Plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(1), 207-219.

Jaynes, D. B., & Colvin, T. S. (2006). Corn yield and nitrate loss in subsurface drainage from midseason nitrogen fertilizer application. *Agronomy Journal*, *98*(6), 1479-1487.

Jury, W. A. (1975a). Solute Travel-Time Estimates for Tile-Drained Fields: I. Theory 1. *Soil Science Society of America Journal*, *39*(6), 1020-1024.

Jury, W. A. (1975b). Solute Travel-Time Estimates for Tile-Drained Fields: II. Application to experimental studies. *Soil Science Society of America Journal*, *39*(6), 1025-1029.

Kacimov, A. R. (2000). Comment on the paper "An analytical solution for design of bi-level drainage systems" by AK Verma, SK Gupta, KK Singh, HS Chauhan. *Agricultural Water Management*, *46*(2),
www.SID.ir

Archive of SID

193-200.

Kahlown, M. A., & Khan, A. D. (2004). Tile drainage manual.

Karimov, A. K., Šimůnek, J., Hanjra, M. A., Avliyakulov, M., & Forkutsa, I. (2014). Effects of the shallow water table on water use of winter wheat and ecosystem health: Implications for unlocking the potential of groundwater in the Fergana Valley (Central Asia). *Agricultural Water Management*, *131*, 57-69.

Konukcu, F., Istanbulluoglu, A., & Kocaman, I. (2004). Determination of water content in drying soils: incorporating transition from liquid phase to vapour phase. *Soil Research*, *42*(1), 1-8.

Li, S., Luo, W., Jia, Z., Tang, S., & Chen, C. (2018). The Pros and Cons of Encouraging Shallow Groundwater Use through Controlled Drainage in a Salt-Impacted Irrigation Area. *Water resources management*, *32*(7), 2475-2487.

Mahjoubi, A., Hooshmand, A., Naseri, A., & Jafari, S. (2013). Effects of Controlled Drainage on Soil Salinity, Irrigation Management and Sugarcane Yield at Imam Khomeini Plantation. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 13(4), 25-40.

Mahjoubi, A., Hooshmand, A., Naseri, 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).

Menenti, M. (1984). Physical aspects and determination of evaporation in deserts applying remote sensing techniques (Doctoral dissertation, Menenti).

Moorhead, D. L., & Callaghan, T. (1994). Effects of increasing ultraviolet B radiation on decomposition and soil organic matter dynamics: a synthesis and modelling study. *Biology and Fertility of Soils*, *18*(1), 19-26.

Namken, L. N., Wiegand, C. L., & Brown, R. G. (1969). Water Use by Cotton from Low and Moderately Saline Static Water Tables 1. *Agronomy Journal*, *61*(2), 305-310.

Nazari, B., Liaghat, A., Parsinezah, M., & Naseri, A. (2008). Optimization of the Installation Depth of Subsurface Drainage with Economic and Environmental Considerations. The fifth workshop on drainage and environment. (In Farsi).

Nijland, H. J. (2000). Drainage along the River Nile. Ministry of Public Works and Water Resources, Egypt, Ministry of Transport. *Public Works and Water Management, Directorate-General of Public Works and Water Management, the Netherlands*.

Northey, J. E., Christen, E. W., Ayars, J. E., & Jankowski, J. (2006). Occurrence and measurement of salinity stratification in shallow groundwater in the Murrumbidgee Irrigation Area, south-eastern Australia. *Agricultural Water Management*, *81*(1-2), 23-40.

Nulsen, R. A. (1981). Critical depth to saline groundwater in non-irrigated situations. *Soil Research*, *19*(1), 83-86.

Prathapar, S. A., & Qureshi, A. S. (1999). Modelling the effects of deficit irrigation on soil salinity, depth to water table and transpiration in semi-arid zones with monsoonal rains. *International Journal of Water Resources Development*, *15*(1-2), 141-159.

Qadir, M., Qureshi, A. S., & Cheraghi, S. A. M. (2008). Extent and characterisation of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management. *Land Degradation & Development*, *19*(2), 214-227.

Qureshi, A. S., Ahmad, W., & Ahmad, A. F. A. (2013). Optimum groundwater table depth and irrigation schedules for controlling soil salinity in central Iraq. *Irrigation and Drainage*, *62*(4), 414-424.

Qureshi, A. S., Eshmuratov, D., & Bezborodov, G. (2011). Determining optimal groundwater table depth for maximizing cotton production in the Sardarya province of Uzbekistan. *Irrigation and drainage*, *60*(2), 241-252.

Qureshi, A. S., Iqbal, M., Anwar, N. A., Aslam, M., & Chaudhry, R. M. (1997, May). Benefits of shallow drainage. In *Proceedings Seminar on-farm salinity, drainage, and reclamation. IWASRI Publication* (Vol. 179).

Rao, K. V. G. K., Sharma, S. K., & Kumbhare, P. S. (1995). Drainage requirements of alluvial soils of Haryana. Reclamation and Management of Waterlogged Saline Soils. Nat. Sem. Proc., Centr. Soil Sal. Res. Inst., Karnal and HAU, Hissar, India, 36-49.

Reicosky, D. C., Kemper, W. D., Langdale, G., Douglas, C. L., & Rasmussen, P. E. (1995). Soil organic matter changes resulting from tillage and biomass production. *Journal of soil and water conservation*, *50*(3), 253-261.

Rengasamy, P. (2006). World salinization with emphasis on Australia. *Journal of experimental botany*, *57*(5), 1017-1023.

Rhoades, J. D. (1974). Drainage for salinity control. *Drainage for agriculture*, (drainageforagri), 433-461.

Rhoades, J. D., & Halvorson, A. D. (1977). Electrical conductivity methods for detecting and delineating saline seeps and measuring salinity in northern Great Plains soils [Excessive salt accumulation]. ARS-W-US Agricultural Research Service, Western Region (USA).

Rhoades, J. D., Manteghi, N. A., Shouse, P. J., &Alves, W. J. (1989). Soil electrical conductivity and soil salinity: New formulations and calibrations. Soil Science Society of America Journal, 53(2), 433-439.

Rijtema, P. E. (1969). *Soil moisture forecasting* (No. 513). ICW.

Ritzema, H. P. (2006). *Drainage principles and applications* (No. 16). ILRI.

Ritzema, H. P. (2016). Drain for Gain: Managing salinity in irrigated lands—A review. Agricultural Water Management, 176, 18-28.

Ritzema, H. P., & Braun, H. M. H. (2006).

www.SID.ir

Archive of SID

Environmental impact of drainage. In: Ritzema, H.P. (Ed.), Drainage Principles and Applications, 16, 3rd edition. ILRI Publication, Alterra-ILRI, Wageningen, 1041–1064.

Ritzema, H. P., Satyanarayana, T. V., Raman, S., & Boonstra, J. (2008). Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields. *Agricultural water management*, *95*(3), 179-189.

Ritzema, H., & Schultz, B. (2011). Optimizing Subsurface Drainage Practices in Irrigated Agriculture in the Semi-Arid and Arid Regions: Experiences from Egypt, India and Pakistan. *Irrigation and drainage*, *60*(3), 360-369.

Rose, D. A., Konukcu, F., & Gowing, J. W. (2005). Effect of watertable depth on evaporation and salt accumulation from saline groundwater. *Soil Research*, *43*(5), 565-573.

Rosegrant, M. W. and Cline, S. A. (2003). Global food security: challenges and policies. *Science*, 302(5652), 1917-1919.

Rosegrant, M. W., & Cai, X. (2000). Modeling water availability and food security-a global perspective: The IMPACT-Water Model.

Saadat, S., Bowling, L., Frankenberger, J., & Kladivko, E. (2018). Nitrate and phosphorus transport through subsurface drains under free and controlled drainage. *Water research*, *142*, 196-207.

Sadeghi Lari, A., Moazed, H., Naseri, A., Liaghat, A., Jaafari, S. (2013). Flow and Nitrate Losses Reduction using Controlled Drainage in the Arid and Semi-Arid Areas of Iran. *Irrigation Sciences and Engineering*, 36(3), 109-118. (In Farsi).

Sadeghi Lari, A., Moazed, H., Naseri, A., Mahjobi, A., & Liaghat, A. (2014). Water Table Fluctuation, Drainage Rate and Nitrogen Dynamic in the Farms of Sugarcane Cropping with Controlled Drainage System. *Journal of Water and Soil*, *27*(6), 1077-1089. (In Persian).

Salama, R. B., Otto, C. J., & Fitzpatrick, R. W. (1999). Contributions of groundwater conditions to soil and water salinization. *Hydrogeology Journal*, *7*(1), 46-64.

Saleh, H. H., & Troeh, F. R. (1982). Salt Distribution and Water Consumption from a Water Table with and without a Crop 1. *Agronomy Journal*, *74*(2), 321-324.

Sarwar, A., & Feddes, R. A. (2000). Evaluating drainage design parameters for the Fourth Drainage Project, Pakistan by using SWAP model: Part II–modeling results. *Irrigation and Drainage Systems*, *14*(4), 281-299.

Shah, S. H. H., Vervoort, R. W., Suweis, S., Guswa, A. J., Rinaldo, A. S. E. A. T. M., & Van der Zee, S. E. A. T. M. (2011). Stochastic modeling of salt accumulation in the root zone due to capillary flux from brackish groundwater. *Water Resources Research*, *47*(9).

Sharifipour, M., Alizadeh, H., Naseri, A., Liaghat, A., Hasanoghli, A. (2015). Agricultural, Environmental and Economic Considerations in Determining Pipe Drain Depth in Arid and Semi-Arid Regions- Case Study Azadegan Plain. *Water Management in Agriculture*, 2(1), 71-80. (In Farsi)

Sharifipour, M., Liaghat, A., Naseri, A., Nozari, H., Hajishah, M., Zarshenas, M., Hoveizeh, H., & Nasri, M. (2019). Drainage Water Management of Irrigation and Drainage Networks of South West Khuzestan. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, (), -. doi: 10.22059/ijswr.2019.274004.668107

Sharifipour, M., Naseri, A. A., Jafari, S., &Yazdanparast, S. (2013). Effect of Shallow and Saline Groundwater on Drain Water Salt Loud in South Khuzestan. 9th International Conference of River Engineering, Ahwaz, Iran.

Singh, A. (2014, a). Conjunctive use of water resources for sustainable irrigated agriculture. *Journal of Hydrology*, *519*, 1688-1697.

Singh, A. (2014, b). Irrigation planning and management through optimization modelling. *Water resources management*, *28*(1), 1-14.

Singh, A. (2015, a). Land and water management planning for increasing farm income in irrigated dry areas. *Land Use Policy*, *42*, 244-250.

Singh, A. (2015, b). Poor quality water utilization for agricultural production: An environmental perspective. *Land use policy*, *43*, 259-262.

Singh, A. (2015, c). Soil salinization and waterlogging: A threat to environment and agricultural sustainability. *Ecological indicators*, *57*, 128-130.

Singh, R., Helmers, M. J., Crumpton, W. G., & Lemke, D. W. (2007). Predicting effects of drainage water management in Iowa's subsurface drained landscapes. *Agricultural water management*, *92*(3), 162-170.

Skaggs, R. W., & Chescheir III, G. M. (2003). Effects of subsurface drain depth on nitrogen losses from drained lands. *Transactions of the ASAE*, *46*(2), 237.

Smedema, L. K. (2007). Revisiting currently applied pipe drain depths for waterlogging and salinity control of irrigated land in the (semi) arid zone. *Irrigation and Drainage: The journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*, *56*(4), 379-387.

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

Snellen, W.B. (1997). Towards integration of irrigation and drainage management: information on symposium background, objectives and procedures. In W.B. Snellen, ed. "Towards integration of irrigation and drainage management" proceedings of the jubilee symposium.Wageningen, The Netherlands, ILRI.

Srinivasulu, A., Rao, C. S., Lakshmi, G. V., Satyanarayana, T. V., & Boonstra, J. (2004). Model studies on salt and water balances at
www.SID.ir

Archive of SID

Konanki pilot area, Andhra Pradesh, India. *Irrigation and Drainage Systems*, *18*(1), 1-17.

Talsma, T. (1963). *The Control of Saline Groundwater*. Department of Physics and Meteorology, Agricultural University, Wageningen, Netherlands.

Tanji, K. K. (1990). Agricultural Salinity Assessment and Management (ASCE Manual and Reports on Engineering Practice).: KK Tanji. *Amer. Soc. of Civil Engineers, NYP*, *619*.

Tanji, K. K., & Kielen, N. C. (2002). Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas. FAO.

United Nations (2012). World Population Prospects: 2012 Revision Population Database, Available at: http://www.un.org/esa/population/unpop.htm (accessed on 19.07.13).

Valipour, M. (2014). Drainage, waterlogging, and salinity. *Archives of Agronomy and Soil Science*, *60*(12), 1625-1640.

Van Achthoven, T., Lohan, H. S., & Parlin, B. W. (2000). The reclamation of waterlogged and saline lands with sub surface drainage: an overview of the Haryana Operational Pilot Project. In *Role of drainage and challenges in 21st century. Vol. I. Proceedings of the Eighth ICID International Drainage Workshop, New Delhi, India, 31 January-4 February 2000.*(pp. 515-528).

Van der Molen, W. H., Beltrán, J. M., & Ochs, W. J. (2007). *Guidelines and computer programs for the planning and design of land drainage systems* (Vol. 62). Food & Agriculture Org.

Van Hoorn, J. W. (1979). Effect of capillary flow on salinization and the concept of critical depth for determining drain depth. In *Proceedings of the International Drainage Workshop, 16-20 May 1978, Wageningen, The Netherlands/edited by Jans Wesseling*. Wageningen, International Institute for Land Reclamation and Improvement, 1979.

Van Hoorn, J. W., & Van Alphen, J. G. (2006). Salinity control. In Ritzema, H. P. (2006). *Drainage principles and applications* (No. 16). ILRI. , 533-600.

Varadachari, C., Mitra, S., & Ghosh, K. (2017, March). Photochemical oxidation of soil organic matter by sunlight. In *Proc Indian Natn Sci Acad* (Vol. 83, No. 1, pp. 223-229).

Verma, A. K., Gupta, S. K., Singh, K. K., & Chauhan, H. S. (1998). An analytical solution for design of bi-level drainage systems. *Agricultural water management*, *37*(1), 75-92.

Wallender, W. W., & Tanji, K. K. (2011). *Agricultural salinity assessment and management* (No. Ed. 2). American Society of Civil Engineers (ASCE).

Weiss, E. B. (1992). United Nations Conference on Environment and Development. International Legal Materials, 31(4), 814-817.

Williams, M. R., King, K. W., & Fausey, N. R. (2015). Drainage water management effects on tile discharge and water quality. *Agricultural water management*, *148*, 43-51.

Xu, X., Huang, G., Sun, C., Pereira, L. S., Ramos, T. B., Huang, Q., & Hao, Y. (2013). Assessing the effects of water table depth on water use, soil salinity and wheat yield: Searching for a target depth for irrigated areas in the upper Yellow River basin. *Agricultural water management*, *125*, 46-60.

Yang, F., An, F., Ma, H., Wang, Z., Zhou, X., & Liu, Z. (2016). Variations on soil salinity and sodicity and its driving factors analysis under micro topography in different hydrological conditions. *Water*, *8*(6), 227.

Yang, F., Zhang, G., Yin, X., Liu, Z., & Huang, Z. (2011). Study on capillary rise from shallow groundwater and critical water table depth of a saline-sodic soil in western Songnen plain of China. *Environmental Earth Sciences*, *64*(8), 2119-2126.

www.SID.ir