پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

زهکشی کنترل شده؛ راهکاری مناسب از دیدگاه محیط زیست بمنظور بهبود کارآیی آبیاری وافزایش بهره وری مصرف آب

مجتبی اکرم[۱]، فواد تاجیک[۲]، سینا اکرم[۳]

۱ـ مقدمه

امروزه چنین پنداشته می‌شود که نگرش جامع به مدیریت آب و خاک و افزایش کارآیی مصرف آب، می‌توانند گام‌هایی مهم در تأمین امنیت غذایی بحساب آیند. گفته می‌شود که تا سال ۲۰۳۰، برای تأمین غذا در کشورهای در حال توسعه، مقدار تولید اراضی فاریاب باید ۸۰ درصد افزایش یابد (Fresco, 2002). چنین افزایشی با افزودن ۸۰ درصدی منابع آب و کاربرد روش‌های اصلاح ژنتیک دراین فرصت کوتاه باقی مانده چندان امکان پذیر بنظر نمی‌رسد.

امروزه بیش از ۷۰ در صد آب بازیافت شده جهان به مصرف کشاورزی می‌رسد. در آینده‌ای نزدیک، رقابتی سخت برای استفاده از آب بمنظور شرب، صنعت و محیط زیست از یک سو و کشاورزی، از سوی دیگر، در خواهد گرفت. بر اساس برآورد یونسکو، به طور میانگین و در سطح جهانی تنها ٤٥ درصد از آب مصرفی کشاورزی به طور مؤثر توسط گیاه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Voltman and Jansen, 2003). تلاش‌های فراوانی که در چند دهه پیش در زمینه افزایش کارآیی مصرف آب صورت گرفته نیز نتوانسته است منجر به کاهشی چشمگیر در مصرف آب کشاورزی گردد. **امید بر این است که زهکشی کنترل شده بتواند در نقاط مستعد، نقشی در افزایش کارایی مصرف و بهره‌وری آب داشته باشد.**

تا چندی پیش، هدف اصلی دست‌اندرکاران زهکشی، خارج کردن آب اضافی از زمین بود. بعبارت دیگر، چنین پنداشته می‌شد که هر چه زهکش‌ها بتوانند آب اضافی و نمک بیشتری را خارج کنند و تهویه خاک را

۱- عضو هیئت اجرایی و مسئول گروه کار زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
۲- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی
۳- کارشناس‌ارشد آبیاری و زهکشی

بهبود بخشند، اثر بیشتری دارند. گذشت زمان، افزایش سطح اراضی فاریاب ومتناسب با آن افزایش سطح زمین‌های زهکشی شده، نمایان شدن آلودگی‌های زهاب و گرایش بیشتر مردم به سوی حفاظت محیط زیست موجب شد که نظر بسیاری از پیشروان دانش و دوست داران محیط زیست نسبت به زهکشی منفی شود. امریکائیان تصمیم گرفتند که تالاب‌های زهکشی شده قبلی را دوباره به حالت قبل در آورند. اتحادیه اروپا، استانداردهای خود در این زمینه را بازنگری کرد و سخت‌گیری‌های بیشتری را پیشه کرد. هرچند اینک، این نوشتار به این موضوع نمی‌پردازد که براستی زهکشی دوستدار یا مخرب محیط زیست است، ولی باید اعتراف کرد که هنوز افکار عمومی جهان به سود توسعه زهکشی زیرزمینی پیش نمی‌رود. از این رو، نگرشی جدید به رسالت زهکشی ضرورت یافته است. **امروز دیگر، وظیفه اصلی زهکشی، تنها خروج آب اضافی نیست، بلکه رسالت اصلی آن به مدیریت سطح ایستابی تغییر یافته است**. از این رو تعریف جدیدی برای زهکشی ارائه شده تا بتواند نظر دوستداران محیط زیست را به خود جلب کند.

بر اساس این تعریف، زهکشی فرآیند خارج کردن آب سطحی اضافی و مدیریت سفره آب زیرزمینی کم عمق از طریق نگهداشت بموقع آب و دفع بموقع آن و مدیریت کیفیت آب برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی و حفظ محیط زیست است (بانک جهانی، Abdel Daiem et al., 2005).

زهکشی کنترل شده یکی از روش‌هایی بود که می‌توانست چنین وظیفه‌ای را تحقق بخشد. به غیر از این روش، راه‌های دیگری نیز ابداع شد تا بتوان آنها را به عنوان روش‌های غیردوستدار محیط زیست تلقی نکرد. از میان این روش‌ها می‌توان به زهکشی زیستی[1]، زهکشی خشک[2] و کاهش حجم زهاب با کشت متوالی گیاهان با مقاومت بیشتر به شوری[3] نام برد.

۲ ـ زهکشی کنترل شده

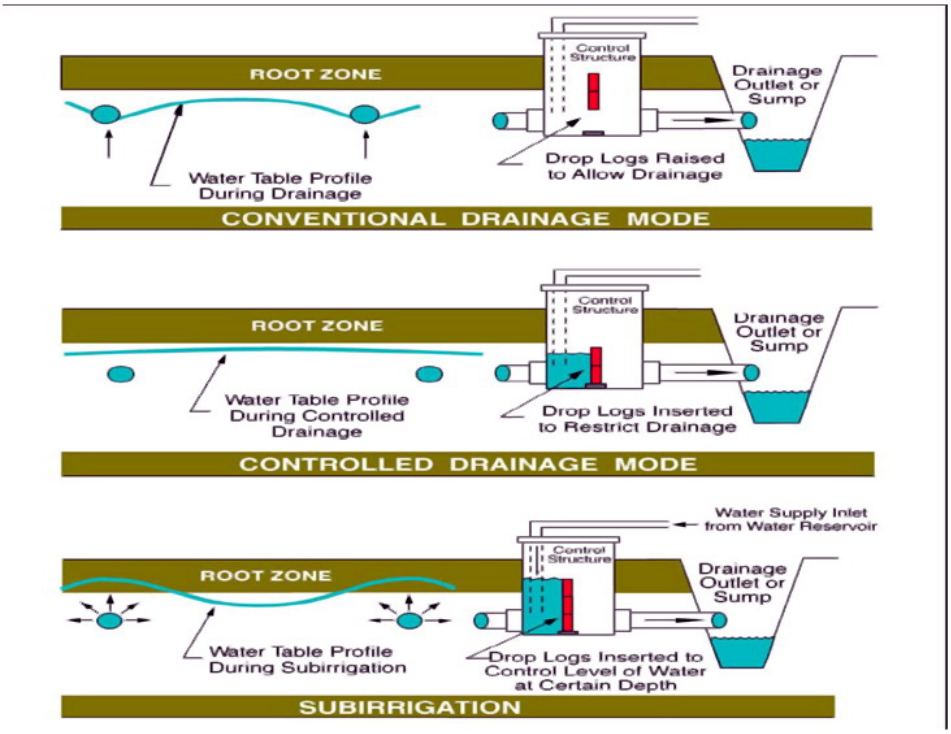
زهکشی به شیوه‌های متداول، به عنوان بخشی از مدیریت جامع منابع آب، وظیفه فراهم آوردن شرایط لازم برای رفت و آمد ماشین‌های کشاورزی بمنظور انجام عملیات زراعی، حفاظت گیاه در برابر شرایط ماندابی، و کنترل شوری خاک را بعهده دارد.

سیستم‌های زهکشی به طور معمول برای بدترین شرایط طراحی می‌شوند. نتیجه این است که سیستم در اغلب اوقات، آبی بیش از مقدار لازم را از خاک خارج می‌کند؛ مقداری بیش از آنچه که سطح ایستابی را در حدود مورد نیاز تثبیت کند و یا شوری را کنترل نماید. همین خود باعث می‌شود که زارعین بیش از حد آبیاری کنند تا رطوبت را از دیدگاه خود در حد مناسب‌تری نگه دارند. چنین وضعیتی علاوه بر اتلاف آب، منجر به اتلاف کودو افزایش بقایای حشره‌کش‌هاوآفت کش‌ها و آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌گردد (Wahba, et al.,2003). **زهکشی کنترل شده روشی مناسب برای مدیریت سطح ایستابی**

1- Bio-drainage
2- Dry drainage
3- Agroforestry

است تا ضمن تأمین هدف زهکشی، از اتلاف آب و عناصر غذایی و انتقال آلاینده‌ها جلوگیری گردد.

با انجام زهکشی کنترل شده، سطح ایستابی تا حد دلخواه بالا آمده و مقدار زهاب خروجی کاهش می‌یابد. در این حالت آب ذخیره شده در نیمرخ خاک از طریق صعود موئینه‌ای برای رفع نیاز آبی گیاه قابل استفاده خواهد بود. این آب می‌تواند پاسخگوی کمبود آب در برخی دوره‌های زمانی رشد گیاه باشد و از این راه، تنش‌های خشکی را کاهش دهد.



شکل ۱. نمایی اززهکشی افقی متداول(بالا)، زهکشی کنترل شده(وسط)و آبیاری زیر زمینی(پایین)

زهکشی کنترل شده جزء مهمی از مدیریت جامع منابع آب بشمار می‌رود و در بسیاری از کشورها از جمله بهترین عملیات مدیریتی[1] (BMP) محسوب می‌گردد. هر چند نقش زهکشی متداول هنوز حائز اهمیت است، اما متناسب با تغییر دیدگاه‌ها، اهداف دیگری نیز باید در برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت زهکش‌ها در نظر گرفته شوند. همانطور که گفته شد، دیدگاه‌های معمول زهکشی بر خروج هر چه بیشتر زهاب استوار بوده،امااکنون با در نظر گرفتن دیدگاه‌های محیط زیست، حفظ و ذخیره رطوبت و کاربرد مجدد و چندگانه زهاب مورد نظر است. در حال حاضر **سیستم‌های زهکشی نباید بدون توجه به کنترل کمی و کیفی زهاب طراحی شوند و حتی سیستم‌های موجود نیز باید به ابزار کنترل زهکشی مجهز گردند.** توجه به این امر، نه تنها در سطح مزرعه، بلکه حتی در مقیاس حوضه آبخیز نیز باید مورد توجه سیاستگذاران و برنامه‌ریزان قرار گیرد (Voltman and Jansen, 2003).

1- Best Management Practices

۳- مروری بر منابع و معیارهای طراحی

سابقه انجام زهکشی کنترل شده (شکل۱-وسط) به صورت آزمایشی یا عملی، از دهه‌های گذشته در کشورهایی مانند آمریکا، هلند، ایتالیا، چین، فنلاند، کانادا، مالزی، نیوزلاند و ایران وجود داشته و در ابتدا در خاک‌های شنی و آلی مورد استفاده قرار گرفته است اما مشاهده شده است در خاک‌های سنگین تر نیز قابل اجرا است (Skaggs, 1999). از اواسط دهه هشتاد میلادی مطالعات و تلاش‌های زیادی در جهت تلفیق زهکشی با آبیاری و کنترل سطح ایستابی به ویژه در اقلیم‌های مرطوب آمریکا و کانادا صورت گرفته است. در مناطق مرطوب با خاک سنگین، مدیریت سطح ایستابی دشوارتر است. برای اغلب محصولات زراعی شرایط ماندابی کوتاه مدت (۱۲ تا ۲٤ ساعت) اثرات مخرب بیشتری نسبت به شرایط کم آبی موقت دارد. در مناطق خشک و خاک‌های سبک، کنترل سطح ایستابی آسان تر است. در مناطق مرطوب که درصد زیادی از بارندگی در طول فصل رشدودر ابتدای کاشت گیاه ریزش می کند، بالا نگهداشتن سطح ایستابی منجر به کاهش گسترش ریشه گیاه می‌گردد که در دورهٔ خشک، توان جذب گیاه از عمق خاک را کاهش می‌دهد و بر تنش خشکی می‌افزاید (Parsons, et al., 1990). زهکشی کنترل شده توأم با آبیاری زیرزمینی (شکل۱- پایین) در آمریکا توسعه یافته و به دلیل جنبه‌های مثبت زیست محیطی و افزایش محصول به طور گسترده‌ای در ۲۰سال اخیرمورداستفاده قرارگرفته است(Skaggs and Breve, 1995).

زهکشی کنترل شده علاوه بر فراهم کردن امکان افزایش محصول و کارایی مصرف آب، می‌تواند به بهبود کیفیت زهاب نیز منجر شود. فوزی (۲۰۰٤) گزارش نموده است که زهکشی کنترل شده نه تنها باعث کاهش حجم زهاب و مقدار نیترات در خروجی زهکشی شده، بلکه از غلظت نیترات در ناحیه توسعه ریشه نیز کاسته است. مشاهده شده است که آبشویی نیترات در سیستم زهکشی کنترل شده ۵۰ درصد نسبت به زهکشی معمول کاهش یافته است (British Colombia Ministry of Agriculture and Food, 1998). همچنین، با اجرای صحیح سیستم زهکشی کنترل شده، مقدار کاهش ازت و فسفر در زهاب، بیش از ۵۰ درصد گزارش شده است (Evans, et al., 1995). یکی از مکانیسم‌های کاهش نیترات در زهکشی کنترل شده، افزایش دنیتریفیکاسیون در سطح ایستابی بالاست؛ اما قسمت عمدهٔ کاهش تلفات مربوط به کاهش حجم زهاب در این روش مدیریتی است(Gilliam et al., 1999).آبیاری زیرزمینی احتمالاً جذب نیترات و دنیتریفیکاسیون توسط گیاه را افزایش می‌دهد اما در عین حال، بر حجم خروجی زهکش می‌افزاید (Skaggs and Breve, 1995).

در حال حاضر معیارهای طراحی مورد قبول عام برای سیستم زهکشی کنترل شده، نه در مناطق مرطوب و نه در مناطق خشک، وجود ندارد (Bahceci et al., 2008) و اگر چه سال‌های زیادی است که زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی در شمال آمریکا ترویج می‌شود، اما هنوز معیارهای طراحی یا راهنمای اجرای آن با جزئیات کافی ارائه نشده است. در کشورهای دیگر نیز تجارب موجود در حد قابل استفاده برای کشاورزان عادی کشورهای در حال توسعه ارائه نشده است؛ هر چند که در مصر، در سال ۲۰۰۱ دستورالعمل ویژه ای برای کمک به کارشناسان و تکنیسن‌های دست اندر کار منتشر شده است. در اراضی

فاریاب و دیم زارهای مناطق خشک و نیمه خشک، بیشترین عامل انگیزش برای کاربرد زهکشی کنترل شده توسط کشاورزان، کمبود آب است. متأسفانه اغلب سیستم‌های موجود آبیاری و زهکشی برای مدیریت تلفیقی آب طراحی و اجرا نشده اند و فاقد ابزار کنترل سطح ایستابی می‌باشند (Voltman and Jansen, 2003). در زیر برخی از ضوابط و معیارهای زهکشی کنترل شده ذکر می‌شود:

- در سطح جهان، حوضه‌های آبریز رودخانه‌های مهم مناطق خشک و نیمه خشک معمولاً مسطح و حاصلخیزند و در عین حال بامحدودیت منابع آب مواجه بوده و کشاورزی فاریاب در آنها رایج است. در این مناطق مسایل مربوط به شرایط ماندابی و شوری و راندمان پایین آبیاری، احداث زهکش را ضروری ساخته است. بنابراین به طور کلی می‌توان چنین دشت‌هایی را برای کاربرد روش زهکشی کنترل شده مناسب دانست. از سوی دیگر، نقشه مناطق در معرض بحران آب و مناطق دارای بیشترین وسعت اراضی فاریاب در سطح جهان تقریباً بر هم منطبق است و در قاره آسیا و آفریقا شامل کشورهای لیبی، اسرائیل، فلسطین، اردن، سوریه، عراق، عربستان سعودی، یمن، عمان، کشورهای حاشیه خلیج فارس، ایران، پاکستان، هندوستان و چین می‌گردد. از میان آنها، کشورهایی که دارای سیستم زهکشی قابل توجه بوده و نسبت اراضی زهکشی شده به اراضی فاریاب (D:I) در آنها بالاتر از ده درصد است را می‌توان برای اجرای زهکشی کنترل شده مناسب دانست، که شامل مصر، اسرائیل، عراق، بحرین، سوریه، چین، پاکستان و هندوستان می‌گردد. در مناطق دیگر جهان، کشورهای مکزیک، برزیل، سنگال، موریتانی، الجزایر، تونس، اوگاندا، اتیوپی، یونان، آلبانی، رومانی، ترکیه، قبرس، ازبکستان، ترکمنستان، تاجیکستان، قرقیزستان و استرالیا نیز دارای پتانسیل اجرای زهکشی کنترل شده محسوب می‌شوند (Abbott et al., 2002).
- حد لازم زهکشی به عواملی مانند مدت و شدت بارندگی، ویژگی‌های فیزیکی خاک، دمای هوا و خاک، نوع و مرحله رشد گیاه بستگی دارد. بنابراین طراحی و مدیریت زهکشی وابسته به منطقه مورد نظر است و اقلیم، ویژگی‌های خاک و نیازهای گیاه باید در آن در نظر گرفته شود. حد بحرانی که تعیین کننده مقدار بهینه زهکشی در همه مناطق و شرایط مختلف باشد، عملاً وجود ندارد (Evans and Fausey, 1990).
- بسته به نوع محصول و کاربردهای آن دقت کنترل در زهکشی می‌تواند متفاوت باشد. در تولید گل، میزان کنترل در حد چند سانتیمتر، در تولید علوفه در حد چند ده سانتیمتر و برای تولید سایر گیاهان زراعی و شرایط دیگر اقلیمی و توپوگرافی دقت کمتری ضرورت دارد(Abbott et al., 2002).
- مقدار افزایش محصول در اثر کاربرد زهکشی کنترل شده به شرایط اقلیمی و مقدار بارندگی در هر سال بستگی دارد و ممکن است واکنش گیاه به زهکشی کنترل شده در سال‌های مختلف متفاوت باشد. پارسونز و همکاران (۱۹۹۰) افزایش ٤ تا ۱۱ درصدی در مقدار محصول ذرت را طی آزمایش

۵ ساله مشاهده نموده اند.

- بورین و همکاران در یک تحقیق سه ساله، مشاهده نمودند که در مقایسه با زهکشی معمول، زهکشی کنترل شده + آبیاری زیرزمینی زهاب بیشتری ایجاد می‌کند؛ اما در عین حال به علت تامین پیوسته آب قابل دسترس، بر مقدار تبخیر و تعرق می‌افزاید. کارایی مصرف آب (نسبت تبخیر و تعرق به کل آب افزوده شده) در زهکشی کنترل شده + آبیاری زیرزمینی حدود ۷۹ درصد (کمتر از مقدار ۸۸ درصد برای زهکشی معمول) است. با وجود زهاب بیشتر، هدر رفت نیترات در زهکشی کنترل شده تقریباً نصف زهکشی معمول بوده است. زهکشی کنترل شده + آبیاری زیرزمینی با سطح ایستابی متغیر، مقدار هدررفت ازت را ٦٣ درصد کاهش می‌دهد، در حالیکه تثبیت سطح ایستابی در عمق ٦٠ سانتیمتر (که عملاً در مزرعه دشوار است) ٤٦ درصد از هدر رفت ازت می‌کاهد. این تفاوت ممکن است به علت کاهش زهاب در تیمار سطح ایستابی متغیر باشد (Borin et al., 2001).

- پاچه چی و همکاران (۲۰۰۸) با تعیین کارایی آبشویی (F_{ir}) و زهکشی طبیعی (G_n) و استفاده از مدل ریاضی SaltMod و اندازه گیری‌های مزرعه‌ای، اثرات دراز مدت زهکشی کنترل شده بر شوری خاک و راندمان آبیاری را بررسی نموده اند. اندازه گیری‌ها شامل مقدار آب ورودی به پلات آزمایشی در طول فصل رشد، حجم زهاب در خروجی زهکش، کنترل هر روزه سطح ایستابی در شش نقطه از پلات، میانگین شوری خاک در عمق ریشه در بهار و پاییز در شش نقطه بوده و عامل فرضی کنترل زهکشی (F_{rd}) در شبیه سازی مدل از صفر تا یک و ضریب عکس العمل زهکشی از ۰/۰۰۸ تا صفر در نظر گرفته شده است. نتایج نشانگر آن بوده است که در یک دوره ده ساله شبیه سازی مدل، با فرض F_{rd} کمتر از ۰/۷۵ تغییرات معنی داری در شوری ناحیه ریشه ایجاد نمی‌شود اما افزایش معنی داری در شوری محیط ریشه در F_{rd} بزرگتر از ۰/۷۵ مشاهده شده است. افزایش شوری در حدی است که به رشد گیاهان (به جز گیاهان مقاوم تر به شوری مانند پنبه و جو) آسیب می‌رساند. در صورت استفاده از آب شور در آبیاری، مقدار شوری محیط ریشه افزایش می‌یابد. کارایی و کفایت مصرف آب در شبیه سازی به ترتیب ۱۱ و ۳۸/۵ درصد افزایش یافته است. هنگامی که عامل کنترل زهکشی به ۰/۵ رسید، مقدار زهاب از ۰/۱۳۵ به ۰/۱۲۵ متر کاهش یافته است، بدون آنکه شوری در محیط ریشه افزایش یافته باشد. با فرض مقدار ۰/۷۵ برای عامل کنترل زهکشی، حجم زهاب در طول فصل آبیاری از۱۳۵/ به۰/۰۵ متر می‌رسد اما در عین حال، شوری محیط ریشه از ۲/۱۷ به ۳ dSm^{-1} افزایش می‌یابد (Bahceci et al., 2008).

- سطح ایستابی در سیستم زهکشی متناسب با مقدار تبخیر و تعرق تغییر می‌یابد و در طرفین زهکش انحناء دارد. در حالت زهکشی کنترل شده سطح آب در خروجی زهکشی پس از افت سطح ایستابی حاصل ازاثر تبخیروتعرق، به صورت افقی باقی می‌ماند(شکل ۱).

- در مورد عمق مناسب سطح ایستابی، صفوت و ریتزما (Safwat and Ritzema, 1990) اظهار داشته‌اند که تثبیت میانگین فصلی عمق سطح ایستابی در ۰/۸ متری برای تولید گیاهان زراعی کفایت می‌کند. در نظر گرفتن این عمق باعث کاهش قابل توجه هزینه‌های اجرای زهکشی می‌شود. رائو و همکاران (Rao et al., 1990) نیز میانگین عمق مناسب سطح ایستابی در فصل رشد را برای اصلاح خاک‌های شور در حدود ۰/۸ متر دانسته‌اند.
- نوری و همکاران کاهش حجم زهاب را با کنترل سطح ایستابی و آبیاری زیرزمینی در کرج گزارش نموده اند. آنان مشاهده کردند که حجم زهاب، غلظت ازت نیتراتی و هدایت الکتریکی زهاب در تیمارهای کنترل سطح ایستابی (۳۰، ۵۰، ۷۰ سانتی متر) به طور معنی داری نسبت به زهکشی آزاد کاهش می‌یابد. در تیمارهای سطح ایستابی ۳۰ و ۵۰ سانتی متر به ترتیب، تلفات ازت نیتراتی ۹۰ و ۸۲ درصد و حجم زهاب ۵۰ و ٤۱ درصد نسبت به زهکشی آزاد کاهش یافت. بیشترین افزایش هدایت الکتریکی زهاب در قسمت اشباع زیر ناحیه توسعه ریشه مشاهده گردید (نوری و همکاران، ۱۳۸٦).
- هزینه‌های اولیه اجرای زهکشی کنترل شده بیشتر از سیستم‌های زهکشی رایج است. این روش دارای قابلیت افزایش محصول و کاهش نوسان عملکردمحصول و کاهش هزینه‌های نگهداری سیستم نسبت به سیستم‌های جداگانه آبیاری و زهکشی است. بازگشت هزینه‌های اجرای سیستم بستگی به ارزش محصول، مقدار افزایش محصول ناشی از کاهش تنش‌های خشکی و افزایش یکنواختی توزیع رطوبت در خاک و هزینه نصب تجهیزات کنترل زهکشی دارد. علاوه بر هزینه اولیه اجرای سیستم، زمان لازم برای مدیریت آن باید مورد توجه قرار گیرد. با توجه به آنکه مدیریت صحیح سیستم در زهکشی کنترل شده حایز اهمیت بیشتری نسبت به زهکشی معمول است، اتوماسیون سیستم می‌تواند آن را از نظر اقتصادی توجیه پذیر سازد (World Bank. 2005).

۴ـ فواید زهکشی کنترل شده

- زهکشی کنترل شده موجب افزایش کارآیی مصرف آب[1] (WUE) می‌شود. به عبارت دیگر، با یک واحد آب، مقدار محصول بیشتری به دست می‌آید؛
- افزایش راندمان آبیاری را به دنبال دارد؛
- باعث هدر رفت کمتر فسفر و نیتروژن می‌گردد و نه تنها آسیب به محیط زیست را کاهش می‌دهد، بلکه حاصلخیزی خاک را نیز حفظ می‌کند و هزینه‌های تولید را پایین می‌آورد؛
- رودخانه‌ها، تالاب‌ها و مناطق حساس به آلودگی را حفاظت می‌کند و یا در خطر کمتری قرار می‌دهد؛
- موجب تعادل آب در مناطقی می‌شود که برای دوره‌های کوتاه مدت دچار کمبود آب هستند؛

1- Water Use Efficiency

- در دشت‌هایی که در آنها برنج، گیاه اصلی در تناوب زراعی است و آب برگشتی کیفیت نامناسبی دارد، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد؛ و

تمامی موارد فوق بعلاوه مزایای دیگر، به توسعه پایدار سامانه‌های آبیاری و زهکشی کمک شایانی می‌نماید.

فواید جنبی زهکشی کنترل شده عبارتست از:

- صرفه‌جویی در آب با افزایش کارایی مصرف آب و امکان افزایش سطح زیرکشت؛
- ذخیره انرژی و نیروی کار با کاهش پمپاژ در آبیاری و زهکشی؛
- کاهش تعداد دفعات آبیاری به سبب استفاده بیشتر گیاه از آب موجود؛
- افزایش مقدار محصول با افزایش مقدار رطوبت قابل دسترس گیاه پس از آبیاری؛
- اشتراک منافع حاصل از زهکشی کنترل شده برای زارعین و دولت‌ها.

کشاورزان به طور مستقیم با صرفه‌جویی در زمان و پول در مدیریت مزرعه و افزایش محصول؛ و دولت‌ها با تقویت منابع ارزشمند آب و کاهش خسارات زیست محیطی از این روش منتفع می‌شوند (World Bank. 2005).

۵ - پیش نیاز زهکشی کنترل شده

برای زهکشی کنترل شده، وجود شرایط زیر الزامی است:

- اراضی کشاورزی نسبتاً مسطح؛
- استفاده از روش آبیاری سطحی؛
- دارا بودن سامانه زهکشی مصنوعی (روباز یا بسته)؛
- وجود چاهک‌های بازرسی یا سایر سازه‌هایی که بتوان سطح آب را در زهکش‌ها کنترل کرد؛
- وجود علاقمندی در کشاورزان؛
- یکپارچگی در اراضی وسیع؛ و
- عدم کشت هم زمان محصولات مختلف.

همه این شرایط در اراضی کشت و صنعت نیشکری خوزستان و بسیاری از زمین‌هایی که باید در آینده در این استان زهکشی شوند، وجود دارد. استفاده از این روش، می‌تواند در صورت موفقیت، تغییر چشم‌گیری در چهره کشاورزی منطقه ایجاد کند.

۶ـ تجربیات سایر کشورها

تفکر زهکشی کنترل شده از حدود سه دهه پیش بوجود آمده است. امروز در امریکا، کانادا، هلند، برخی دیگر از کشورهای اروپایی، استرالیا، نیوزلند، چین، فنلاند و مالزی و بویژه در مصر کاربرد زیادی دارد.

روزگاری عقیده بر این بود که تمامی زمین‌هایی که آبیاری می‌شوند، به زهکشی نیازمندند.**امروزه این عقیده وجود دارد که زهکشی نکنید مگر اینکه ضرورت آن کاملاً وجود داشته باشد (Vlotman and Jansen 2003).**

۶ـ۱ـ تجربیات مصر

نظر دانشمندان مصری میتواند برای ما آموزنده باشد. باید به خاطر داشت که مصر با داشتن ۳ میلیون هکتار زهکشی زیر زمینی، یکی از کشورهای پیشرو در امر زهکشی به حساب می‌آید.

- بدون تفکر در مورد زهکشی کنترل شده و کمیت و کیفیت زهاب، **نباید** سامانه‌های زهکشی طراحی شوند.
- زهکش‌های موجود باید طوری اصلاح شوند که بتوان از آنها بعنوان «سامانه کنترل سطح ایستابی» استفاده کرد. به عبارت دیگر، تمامی زهکش‌های متداول باید به زهکش‌های کنترل شده تبدیل شوند.

در تبدیل زهکش‌های متداول به زهکش‌های کنترل شده:

- چنانچه فاصله زهکش‌ها ۱/۵ برابر شود و در ابتدای کشت، سطح آب در ۶۰ سانتیمتری کنترل گردد و سپس با بزرگ شدن ریشه، زهکشی آزاد صورت گیرد، ۱۵ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی می‌شود.
- با شرایط بالا چنانچه فاصله زهکش‌ها ۲ برابر شود، صرفه جویی به ۲۰ درصد می‌رسد.

۶ـ۲ـ تجربیات استرالیا

در مناطق خشک و نیمه خشک استرالیا نیز این نتایج کلی به دست آمده است:

- حجم زهاب کاهش زیادی می‌یابد؛
- حجم نمک دفع شده کم می‌شود؛و
- شوری خاک افزایش می‌یابد ونگهداری آن در حد مطلوب مدیریت ویژه‌ای را می‌طلبد (Hornbuckle, Christen, Ayars and Faulkner (2003).

Vlotmanو همکاران، بدون این که به تجربه ویژه ای اشاره کنند، مشکلات احتمالی زهکشی کنترل شده را به شرح زیراز نظر دور نمی دارند:

- تخریب نسبی ساختمان خاک در اطراف لوله؛
- گرفتگی بیولوژیکی لوله؛
- ایجاد گل اخرا در زمین‌های آهن دار؛ و
- تخریب دیواره‌های زهکش‌های روباز.

۶ـ۳ـ تجربیات ایالات متحده امریکا

نخستین آزمایش‌های زهکشی کنترل شده از غرب امریکا شروع شد و ظاهراً Willardson استاد دانشگاه ایالتی یوتا، اولین کسی بود که با بستن انتهای زهکش و بالا آوردن سطح آب، به کاهش تلفات نیتروژن پی برد و آن را به پدیده دنیتریفیکاسیون نسبت داد. بعدها، تجربیات ایالات متحده امریکا بیشتر در شرق امریکا و با محوریت دانشگاه ایالتی کارولینای شمالی و با کوشش پیگیرانه Skaggs و Evans بدست آمده است. نتایج کلی تحقیقات انجام شده در امریکا را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

توسعه:

- حدود ۱۰ درصد اراضی زراعی ایالات متحده که بالقوه می‌توانند زهکشی کنترل شده داشته باشند، تا سال۲۰۰۳ به سامانه مدیریت سطح ایستابی مجهز شده‌اند.
- تنها در یک ماه از سال ۱۹۸۹ بیش از ۲۵۰۰ سازه زهکشی کنترل شده، در یکی از ایالت‌ها نصب شده است (Evans et al., 1996).

صرفه‌جویی در مصرف آب (Evans et al., 1995) :

- ذرت ۲۲ در صد
- سویا ۲۵ در صد
- پنبه ۲۰ در صد
- صرفه جویی کلی (محتاطانه) ۱۵ در صد

کاهش تلفات ازت نیتراتی در زهکشی کنترل شده:

- کاهش غلظت NO3–N ۳۳ درصد
- کاهش حجم NO3–N ۳۷ درصد (Ten et al. 1993)
- کاهش تلفات NO3–N حدود ۵۰ درصد در فصل غیر کشت (Gilliam et al. 1993)

- کاهش غلظت NO3-N ۲۵ درصد
- کاهش حجم NO3-N ۲٤ درصد(Drury et al. 1996)
- کاهش ازت کل حدود ٤٥ درصد(Osmond et al. 2002)

به طوری که ملاحظه می‌شود، می‌توان پذیرفت که به آسانی می‌توان حدود ۱۵ در صد صرفه‌جویی در آب و۲۵ تا۳۰ در صد کاهش افزوده شدن ازت نیتراتی به محیط زیست را انتظار داشت. بدیهی است که پیش نیاز دستیابی به این آرزوها، نظارت دقیق و پایش منظم طرح‌هاست.

۶-۴- تجربه‌های ایران

در ایران، از گذشته انواعی از زهکشی کنترل شده مورد استفاده بوده و هم اکنون نیز هست که بستن خروجی زهکش توسط کشاورزان در سیستان و مغان و فارس و آبیاری جزر و مدی در نخیلات آبادان از آن جمله می‌باشد (اکرم و اکرم، ۱۳۸۳). اگرچه نسبت اراضی زهکشی شده به اراضی فاریاب در ایران کمتر از ده درصد است و از نظر Abbotte و همکاران (۲۰۰۲) دارای پتانسیل زهکشی کنترل شده محسوب نمی‌گردد، اما مطابق نظر اکرم و اکرم (۱۳۸۳) باید به این نکته توجه نمود که قسمت عمده زهکش‌های احداث شده و در حال طراحی و اجرای کشور در استان خوزستان قرار دارد و این استان دارای پتانسیل قابل توجهی برای اجرای سیستم‌های زهکشی کنترل شده می‌باشد. همچنین، اراضی پست حاشیه دریای خزر و اراضی شالیزاری در صورت احداث زهکش، قابلیت اجرای زهکشی کنترل شده و پیدایش امکان کشت دوم و کاهش هدر رفت آب و عناصر غذایی و آلاینده‌ها را دارند (اکرم و اکرم، ۱۳۸۳).

- تا آنجا که نگارندگان اطلاع دارند، تنها در یک مزرعه نمونه برنج در مازندران با همکاری JAICA زهکشی کنترل شده احداث شده است. در این مزرعه که از پوسته برنج نیز بعنوان پوشش زهکش استفاده شده است بررسی‌ها نشان از موفقیت زهکشی کنترل شده دارد. متأسفانه الگوبرداری از این سیستم موفق انجام نشده تا حدی که حتی بسیاری از کارشناسان آبیاری از وجود آن نیز بی‌خبرند.

شکل ۲- مزرعه کاپیک مجهز به زهکشی کنترل شده متعلق به وزارت جهاد کشاورزی

- خشکسالی‌های چند سال پیش موجب کاهش عملکرد برنج در گیلان نگردید. هر چند زهکشی کنترل شده در این منطقه وجود ندارد، ولی این امر به خوبی نشان دهنده مصرف بی‌رویه آب و امکان افزایش راندمان و بهره‌وری است. این موضوع بخوبی نشان می دهد که از زهکشی کنترل شده که مصرف آب را کاهش می دهد، بیهوده نباید هراس داشت.
- در سیستان، زارعین در برخی مواقع، خروجی زهکش‌های زیرزمینی را با گونی می‌بندند. این کار در نظر اول عجیب می‌نماید، ولی حقیقت این است که در شرایط کم آبی، زارعین دریافته‌اند که زهکش‌ها رطوبت قابل دسترس گیاه را "هدر" می‌دهند. برخی از کشاورزان به زهکش‌های زیرزمینی لقب "آب دزد" داده‌اند. آنها با بستن خروجی زهکش‌ها، تعداد دفعات آبیاری را کاهش می‌دهند و برای گیاه این امکان را فراهم می‌کنند که از رطوبت باقی مانده در قسمت بالائی نیمرخ خاک استفاده کند. زهکشی کنترل شده هم اکنون در سیستان وجود دارد. بدیهی است که کشاورزان بیشتر به فکر حفظ رطوبت خاک هستند و در مورد تجمع شوری نمی‌اندیشند. در این مورد باید تحقیقاتی صورت گیرد و راه حل‌هایی برای اطمینان از عدم تجمع شوری در خاک، اندیشیده شود(اکرم واکرم،۱۳۸۳).
- در جزیره آبادان، نخیلات حاشیه اروندرود و بهمنشیر از دهه‌های گذشته با استفاده از جزر و مد دریا متناوباً آبیاری و زهکشی می‌شوند. با شروع مد، آب رودخانه بالا می‌آید و آب از سمت رودخانه به سمت درختان جریان می‌یابد و ناحیه ریشه درختانی که چند متر با جوی آب فاصله دارند مرطوب می‌شود. این حالت چند ساعت ادامه می‌یابد. با شروع جزر، عمل زهکشی آغاز می‌شود و آب از سمت درختان به سمت رودخانه جریان پیدا می‌کند. این کار را می‌توان زهکشی کنترل شده توأم با آبیاری زیرزمینی دانست. در حال حاضر این کار تنها به وسیله طبیعت (جزر و مد) کنترل می‌شود. شاید بتوان با کمک انسان، کنترل بیشتری نیز بر روی آن اعمال کرد. تجربه نشان می‌دهد، که این روش به خوبی توانسته است رطوبت خاک را در حد مطلوب نگاه دارد و از این جهت روشی موفق بوده است. از نظر شوری، تنها در حدود ده سال اخیر است که با تخریب کیفیت آب رودخانه کارون (به سبب کاهش آورد رودخانه ناشی از بهره برداری از آن در ایران، ترکیه، سوریه و عراق و تخلیه پساب آبیاری طرح‌های بالادست) مشکلاتی در منطقه پدیدار شده است. اگر آب مصرفی به علت پس زدگی آب دریا به این اندازه شور نبود، این مشکلات نیز پیش نمی‌آمد. به عبارت دیگر مشکل زهکشی کنترل شده در جزیره آبادان مربوط به شوری آب است و نه مربوط به عدم کارآیی سیستم. این روش سال‌های سال، هنگامی که شوری آب کمتر بود، عملکرد موفقیت آمیزی داشته است.(اکرم و اکرم،۱۳۸۳)

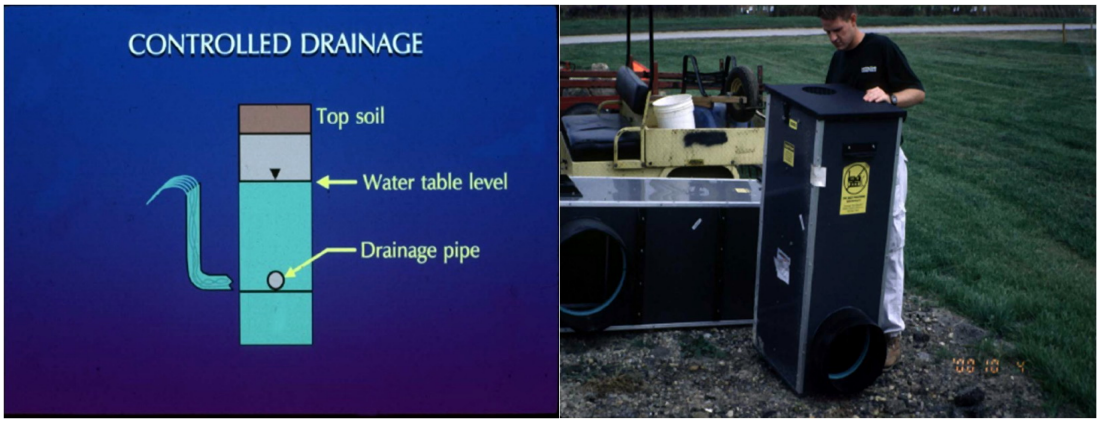
با عنایت به موارد بالا، به نظر می‌رسد که بتوان برخی از مناطق ایران، از جمله خوزستان را در زمره مناطق با پتانسیل زهکشی کنترل شده دانست.

شکل۳- زهکشی کنترل شده توام با آبیاری زیر زمینی در نخیلات آبادان

۷- سازه کنترل سطح ایستابی

در سیستم زهکشی کنترل شده، در خروجی زهکش ابزاری کنترلی تعبیه می‌گردد تا تلفات آب در دوره خشک را کاهش داده و در دوره مرطوب امکان جریان زهاب را فراهم نماید (Parsons, et al., 1990).

زهکشی کنترل شده، تلفیق آبیاری و زهکشی است. به کمک لوله قائمی که در انتهای لوله‌های فرعی (لترال) یا در انتهای لوله جمع کننده (کلکتور) و یا در جای مناسب دیگر قرار می‌گیرد، سطح آب زیرزمینی در عمق دلخواه تثبیت می‌شودتاگیاه بتواند به کمک نیروی موئینه‌ای از آن استفاده کند و در صورت لزوم با پایین بردن سطح آب در لوله، زهکشی بیشتری انجام می‌گیرد تا از شور شدن خاک جلوگیری شود. **به همین شیوه ساده است که زهکشی کنترل شده می‌تواند نقش مهمی در حفظ آب، بالا بردن راندمان آبیاری، حفظ مواد غذایی خاک و در نهایت، حفظ کیفیت آب پائین دست داشته باشد.**



شکل٤- روش کنترل سطح ایستابی و یک دستگاه ساخته شده آن

۸- پیشنهادی برای مطالعه امکان پذیری زهکشی کنترل شده

مساحت کل سامانه‌های زهکشی زیرزمینی کشور به حدود ۲۰۰ هزار هکتار می‌رسد. بسیاری از زمین‌های زهکشی شده ایران در خوزستان قرار دارد. این زمین‌ها در حال حاضر به کشت نیشکر اختصاص دارند.

در آینده، به ناچار حدود ۳۰۰ هزار هکتار از اراضی طرح کرخه به اراضی دارای زهکشی در خوزستان افزوده خواهد شد که در آن گیاهان متنوعی کشت خواهند گردید.

شکل ٥- یک سازه زهکشی کنترل شده در حال کار (آبی از زهکش لوله‌ای خارج نمی‌شود)

با روش زهکشی کنترل شده می‌توان دور آبیاری را حدود ۱۰ تا۲۰درصد بیشتر کرد. با این کار، در عمل، مصرف آب حدود ۱۰ تا۲۰ درصد کاهش می‌یابد. در نتیجه کارآیی مصرف آب از ۰/۸ کیلوگرم در مترمکعب به حدود ۹ /۰تا ۱ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب افزایش می‌یابد.

اگر این سیستم در کل اراضی دارای زهکش زیرزمینی که قسمت اعظم آن در خوزستان متمرکز است اجرا شود، انتظار می‌رود که جهشی خیره کننده در راندمان آبیاری اراضی دارای سامانه‌های زهکشی ایجاد شود به طوریکه راندمان کل اینگونه شبکه‌ها از حدود ۳۰ درصد به نزدیک ٤٠ درصد افزایش یابد. در مناطقی که راندمان مزرعه پایین تر از متوسط کشور می‌باشد، این روش راندمان کل را بیش از ۱۰ درصد، افزایش خواهد داد.

۸-۱- مطالعه موردی نیشکر در خوزستان

نیشکر ریشه‌ای سطحی دارد و در حال حاضر، آبیاری آن با فواصل مختلف که گاهی به ٦ روز می‌رسد انجام می‌شود و زهکش‌های زیرزمینی نیز آب را به طور نسبتاً دائمی تخلیه می‌کنند. آب مصرفی نیشکر

بسیار بالاست به طوری که به طور متوسط در کارون و هفت تپه بـه حـدود ٤٥٠٠٠-٥٠٠٠٠ مترمکعـب در سال در هکتارو در طرح‌های هفت گانه به حدود ۳۰۰۰۰مترمکعب در سال در هکتار بالغ می‌شـود. آبیـاری سنگین باعث شده است که شوری خاک به خوبی و به سرعت کاهش یابد به طوری که هـم اکنـون شـوری آب آبیاری و زهاب در طرح کشت و صنعت کارون با یکدیگر تفاوت چندانی ندارد.

مصرف آب سالیانه ۱۰۰۰۰۰ هکتار مزارع نیشکر استان خوزستان، حدود ۳/٥ میلیارد مترمکعب مـی‌باشـد که با اجرای زهکشی کنترل شده و به تبع آن افزایش حدود ۱۰ درصدی راندمان کل، می‌توان انتظار داشت که حدود۳٥۰ میلیون مترمکعب آب (حدود دو برابر گنجایش سد کرج) صرفه جویی شود.

به نظر می‌رسد که در طرح‌های نیشکر بخش جنوب خوزسـتان، کلیـه شـرایط لازم بـرای اجـرای زهکـشی کنترل شده مهیاست. زمین نسبتاً مسطح است. سازه‌های کنترل سطح آب به اندازه کافی وجود دارد؛ تمایل صاحبان اراضی (شرکت‌های هفت گانه) بـه مـصرف کمتـر آب وجـود دارد؛ روش آبیـاری سـطحی مـورد استفاده قرار می‌گیرد و در طول هر خط زهکش، تنها یک محصول یعنی نیشکر کشت مـی‌شـود. عـلاوه بـر این، نیشکر ریشه‌ای سطحی دارد و چنانچه حالت ماندابی به مـدتی طـولانی ادامـه نداشـته باشـد، بـه نظـر نمی‌رسد که گیاه از آن آسیب ببیند. به نظر می‌رسد که بتوان کاربرد مـدلی بـه شـرح زیـر را بـا تغییراتـی، مورد آزمون و پژوهش قرارداد.

در ابتدای فصل آبیاری سطح ایستابی در کمی پائین تر از سطح ریشه کنتـرل شـود تـا گیـاه بتوانـد از آب موئینه‌ای استفاده کند. با افزایش رشد ریشه‌ها، عمق کنترل سطح ایستابی بیـشتر شـود و چنانچـه شـوری خاک بیش از حد بالا برود،در یک یا دو روز قبل از آبیاری بعدی، زهکش‌ها تا حدودی باز شود تا بـا خـود شوری را ببرد و علاوه بر اینکه فضای خالی برای ذخیره آب را فراهم مـی‌کنـد، نیـاز آبـشویی نیـز تـأمین شود. به نظر می‌رسد که نمک‌ها نیز در این مدت و ابتدای نوبت جدید آبیاری بتوانند از خاک تخلیـه شـوند. تعداد روزهای باز و بسته شدن زهکش و کنترل شوری از مسائل مهمی هستند که می توانندر پژوهشهای بعدی مشخص شوند. به نظر می‌رسد که با این کار بتوان از آب مصرفی به میزان قابل ملاحظه‌ای کاست و راندمان کاربرد آبیاری را بهبود بخشید. شک نیـست کـه آنچـه گفتـه شـد، در شـرایطی صـادق اسـت کـه آبشوئی اولیه خاک‌ها انجام شده و شوری خاک به حد مطلوبی رسیده باشد.

۸-۲- مطالعه موردی کشت برنج در شمال کشور

سطح زیر کشت انواع ارقام شلتوک در کشور حـدود ٦۲۸۰۰۰ هکتـار بـا تولیـد سـالیانه ۲/۷٤ میلیـون تـن گزارش شده است. گستره کشت برنج در بیست و یک استان پراکنده است . استان‌های مازندران و یزد بـه ترتیـب بـا دارا بـودن ۲۰۱۷۹۳ و ۱٥ هکتـار بیـشترین و کمتـرین مـساحت بـرنج کـاری در کـشور را دارا می‌باشند. متوسط میزان عملکرد محصول در سطح کشور ٤/۳٦ تن در هکتار است.

در اکثر شرایط، زمین‌های شالیزاری در واحدهای فیزیوگرافی جلگه‌های رسوبی و سیلابی، مناطق دلتـایی، زمین‌های ساحلی، کفه‌های جزر و مدّی، خاکهای باتلاقی (خیس‌زاری) و بطـور عمـده دشـت‌هـای رسـوبی

رودخانه‌ای قرار دارند. در کلیه نواحی گفته شده، رژیم رطوبتی "آکویک" که نشانگر رطوبت زیاد و کمبود نسبی اکسیژن است، برقرار می‌باشد.

برنج در مواقعی از دوران رشد، به زهکشی زیر زمینی نیاز دارد. یک بارنزدیک پنجه زنی، تا گیاه با تنش خشکی، ریشه‌های خود را بیشتر و عمیقتر کند و تهویه خاک و دفع سموم تولید شده انجام گیرد. بار دیگر چند روز قبل از برداشت است تا خاک خشک شود و گیاه برای برداشت آماده گردد و در عین حال، خاک برای کشت دوم تهیه شود. در جدول زیر، روزهای تحمل گیاه برنج به شرایط غیراستاندارد رطوبتی ذکر شده است.

جدول ۱- حداکثر طول دوره‌های تحمل گیاه برنج به شرایط غیر استاندارد رطوبتی (روز)

ردیف	مراحل مختلف رشد و نمو گیاه	خاک‌های ریزبافت (رسی)	خاک‌های میان بافت (شنی)
۱	نشاءکاری	۵	۳
۲	پنجه زنی	۷	٤
۳	رشد رویشی گیاهچه	٦	۳
٤	خوشه‌دهی	٦	۳
۵	گل‌دهی	٦	۳
٦	قبل از دوره خشکی	۸	٤

بخشی از شالیزارها که در کوهپایه‌ها بصورت تراس بندی شکل گرفته‌اند، بعلت اختلاف ارتفاع دو تراس مجاور، می توانند پس ازقطع جریان آب به صورت طبیعی زهکشی شوند. اما زمین‌های پست پایین دست کوهپایه‌ها، دارای زهکشی داخلی ضعیف هستند و بدون زهکشی کنترل شده، نمی‌توانند در هنگام پنجه‌زنی و برداشت به خشک کردن شالیزار بپردازند و برای کشت دوم آماده شوند. در این گونه زمین‌ها بدون زهکشی امکان کشت دوم وجود ندارد. بهره برداران کشاورزی بطور میانگین، زمینی بیش از ۸/. تا یک هکتار در اختیار ندارند. کشت دوم برای اینگونه صاحبان اراضی و برای آینده کشاورزی منطقه بسیار ارزشمند است. با زهکشی کنترل شده می‌تواند این مشکل را کاهش یا پایان داد.

طرح موفق زهکشی کنترل شده در مزرعه کاپیک که با همکاری JAICA در مازندران به اجرا در آمده، باید ابتدا مورد ارزیابی قرار گیرد و علل ترویج نشدن آن و عدم استقبال و کپی برداری از آن توسط کشاورزان مشخص شود و در صورت لزوم، نسبت به بهبود طرح و بومی کردن آن اقدام شود. شالی کاران شمال کشور، نیازمند کمکهای فنی و اعتباری دولت هستند. در غیر این صورت، شاید در آینده باید شاهد تغییر کاربری بیشتر اراضی بود. پیشنهاد مشخص نگارندگان این است که چند مزرعه حدود ۵۰

هکتاری در مناطق مختلف گیلان ومازندران به این سامانه مجهز شوند تا شالیکاران نتایج آنها را لمس کنند و خود در برنامه‌های تجهیز و نوسازی اراضی خواستار اجرای آن گردند.

۹- سخن آخر

هر چند طراحی و مدیریت زهکشی کنترل شده به نظر چندان دشوار نیست؛ ولی به تجربه و دانش لازم نیازمند است. عدم توجه به این امر، پیامدهای ناگواری دارد ولی در عوض، موفقیت این سامانه می‌تواند به بهبود محیط زیست و افزایش کارآیی آبیاری بینجامد؛ چیزی که سال‌های سال وقت و کار دست‌اندرکاران و حجم عظیم سرمایه‌گذاری نتوانسته است آنرا تکانی در خور بدهد.

۱۰- مراجع

۱- اکرم، مجتبی و سینا اکرم. ۱۳۸۳. زهکشی کنترل شده، کورسویی برای بهبود راندمان آبیاری در اراضی زهکشی شده ایران. مجموعه مقالات سومین کارگاه فنی زهکشی. صفحه ۳۲-۲۱.

۲- نگرشی بر مسائل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی زیرزمینی در ایران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳۸۱

۳- مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی مبانی طراحی در تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، ۱۳۸۱

٤- نوری، ح، ع. لیاقت، ح. فرداد، و م. چایی چی. ۱۳۸٦. بهبود کیفیت آب زهکشی با استفاده از مدیریت سطح ایستابی در یک منطقه نیمه خشک ایران. مجله آبیاری و زهکشی ایران، سال اول- شماره یک. صفحه ٤٨-٤١.

5- Abbott, C. L., P. Lawrence, G. R. Pearce, and S. Abdel Gawad. 2002. Review of the potential for controlled drainage around the world. DFID, KAR Project R7133. Report OD 146, HR Wallingford, UK.

6- AbdelDaiem, S., J. Hoevenaars, P. P. Mollinga, W. Scheumann, R. Slootweg, and F. van Steenbergen. 2005. Agricultural drainage: Towards an integrated approach. Irrigation and Drainage Systems, 19:71-87.

7- ASABE. 2006. Design, installation and operation of water table management systems for subirrigation /controlled drainage in humid regions. ASABE standards, ASAE EP 479, 1990 (R2005).

8- Bahceci, I., R. Cakir, A. S. Nacar, and P. Bahceci. 2008. Estimating the effect of controlled drainage on soil salinity and irrigation efficiency in the Harran plain using SaltMod., Turk J. Agric. For., 32:101-109.

9- Borin, M., G. Bonaiti, and L. Giardini. 2001. Controlled drainage and wetland to reduce agricultural pollution: A lysimetric study. J. Environ. Qual. 30:1330-1340

10- British Colombia ministry of agriculture and food. 1998. Controlled drainage/Subirrigation, drainage fact sheet, No. 564.000-1.

11- British Columbia drainage factsheet. 2000. Benefits of drainage, B.C. Ministry of agricultural and food, Canada. Fact sheet No. 528.000-1.

12- Drury, C.F., C.S. Tan, J.D. Gaynor, T.O. Oloya, and T.W. Welacky. 1996. Influence of controlled drainage-subirrigation on surface and tile drainage nitrate loss. J. Environ. Qual. 25:317-324.
13- Evans, R., Skaggs, W., and Gilliam, J. W., 1995. Controlled versus conventional drainage effects on water quality. J. Irrig. & Drain., July/August 1995.
14- Evans, R.O. and Fausey, N. R. 1999. Effects of inadequate drainage on crop growth and yield. In: Skaggs, R.W. and van Schilfgaarde, J. (eds.), Agricultural drainage. pp. 13-54.
15- Gaynor, J. D. et al. 2001. Tillage, intercrop, and controlled drainage – Subirrigation Influence Atrazine, Metribuzin, and Metolachlor Loss, J. Environ. Qual., 30:561-572.
16- Hornbuckle, J., E. W. Christen, J. E. Ayars, and R. D. Faulkner. 2003. Controlled water table management as a strategy for reducing salt loads from subsurface drainage under perennial agriculture in semi-arid Australia, 9th Int. Drainage workshop.
17- Parsons, J. E., R.W. Skaggs, and E.W. Doty. 1990. Simulation of controlled drainage in open – ditch drainage systems. Agric. Water Manage. 18:301-316.
18- Parsons, J. E. 1999. Simulation models for drainage water quality. In: Skaggs, R.W. and van Schilfgaarde, J. (eds.), Agricultural drainage. pp. 501-535.
19- Skaggs, R.W. 1999. Water table management: Subirrigation and controlled drainage. In: Skaggs, R.W. and van Schilfgaarde, J. (eds.), Agricultural drainage. pp. 695-718.
20- Soppe, R. W. O., J. E. Ayars, E. W. Christen, and P. J. Shous. 2003. Irrigation management to optimize controlled drainage in a semi-arid area. 9th international drainage workshop, Utrecht, The Netherlands.
21- Voltman, W. F. and H. C. Jansen. 2003. Controlled drainage for integrated water management. 9th International drainage workshop Utrecht, The Netherlands.
22- Wahba, M. A. S., M. A. El-Ganainy, and M. H. Amer. 2003. Water table management for irrigation water Saving. 9th international drainage workshop, Utrecht, The Netherlands.
23- World Bank. 2005. Investing in controlled drainage: Innovation profile 5.2, In: Shaping the future of water for agriculture, A sourcebook for Investment in agricultural water management, the World Bank, Washington.