کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مجموعه مقالات
پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست

۱۶ آبان ماه سال ۱۳۸۷

شماره انتشار ۱۳۰

مجموعه مقالات

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست

۱۶ آبان ماه سال ۱۳۸۷

هیئت علمی پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست

مجتبی اکرم	ابراهیم پذیرا
اردوان آذری	عبدالمجید لیاقت
علیرضا حسن‌اقلی	پیمان دانشکار آراسته
محمدجواد ادیمی	مسعود پارسی‌نژاد
محمدرضا زرنکابی	زهرا بختیاری

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

فهرست	صفحه
۱- خلاصه گزارش فعالیت های گروه کار زهکشی و محیط زیست **زهرا بختیاری**	۱
۲- مدیریت آبیاری و زهکشی در شالیزارها با توجه به ویژگی‌های بیولوژیکی برنج (Oryza sativa) **ابراهیم پذیرا**	۱۱
۳- زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری **ابراهیم پذیرا**	۲۷
۴- زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری **ابراهیم پذیرا**	۵۱
۵- مدیریت آبیاری و زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری **محمدرضا یزدانی، مسعود پارسی‌نژاد**	۷۱
۶- زهکشی کنترل شده؛ راهکاری مناسب از دیدگاه محیط زیست بمنظور بهبود کارآیی آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب **مجتبی اکرم، فواد تاجیک، سینا اکرم**	۸۹
۷- بهینه‌سازی عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی با ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی **بیژن نظری، عبدالمجید لیاقت، مسعود پارسی‌نژاد، عبدعلی ناصری**	۱۰۷
۸- طراحی بهینه زهکش زیرزمینی برای کاهش شوری زه‌آب **مریم نوابیان، عبدالمجید لیاقت**	۱۲۳

فهرست	صفحه

۹- تأثیر نصب سیستم زهکش‌های پلکانی بر وضعیت زهکشی اراضی
تحت کشت نیشکر (مطالعه موردی اراضی کشت و صنعت امام خمینی (ره)) ۱۳۱
عبدعلی ناصری، سعید حمزه، حیدرعلی کشکولی، جعفر آل‌کثیر

۱۰- بازنگری برخی ضوابط طراحی شبکه‌های زهکشی کشور ۱۵۱
علیرضا مریدنژاد

۱۱- بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی:کاپیک) ۱۷۵
حدیثه نوری، حمید زارع ابیانه، عبدالمجید لیاقت، حمیده نوری

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

خلاصه گزارش فعالیت‌های گروه کار زهکشی و محیط زیست

زهرا بختیاری[۱]

۱ـ مقدمه

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران در دوران فعالیت خود و به ویژه در سال‌های اخیر به کانونی صمیمانه برای مشارکت، همفکری و همیاری کلیه متخصصین در زمینه آبیاری، زهکشی و کنترل سیلاب مبدل شده است. تشکیل جلسات گروه‌های کار و کمیته‌های منطقه‌ای و مشارکت متخصصین در این جلسات، از یکسو و انتشار کتاب‌ها و خبرنامه‌هایی که حاوی آخرین اطلاعات علمی سودمند در سطح ملی و بین‌المللی می‌باشد از سوی دیگر، باعث تحولات و پیشرفت‌های علمی و فنی چشمگیری شده‌است. چنانچه پذیرفته شود که اطلاعات و ارتباطات از ارکان اصلی در رشد و توسعه هستند، توفیق کمیته ملی آبیاری و زهکشی در این زمینه قابل ارزیابی است. انتخاب این کمیته به عنوان برترین کمیته ملی در فاصله سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ میلادی توسط کمیسیون بین المللی آبیاری و زهکشی از میان ۱۰۶ کشور عضو، از سویی گواه این ادعا و از سوی دیگر، مایه افتخار و مباهات همه کسانی است که در این راه تلاش کرده‌اند.

۲ـ نگاهی بر روند تحولات کمیته ملی آبیاری و زهکشی

در ماه ژوئن سال ۱۹۵۰ به ابتکار سازمان مرکزی آبیاری کشور هند، هیئتی با شرکت نمایندگان ۱۱ کشور داوطلب بنام کمیسیون بین‌المللی آبیاری و کانال‌ها تشکیل گردید و اساسنامه‌ای موقت برای آن تنظیم گردید. در ماه ژانویه سال ۱۹۵۱جلسه بعدی با شرکت ۱۷ کشور در دهلی‌نو تشکیل و ضمن تصویب نهایی

۱- عضو گروه کار زهکشی و محیط زیست کمیته ملی آبیاری و زهکشی و کارشناس ارشد شرکت مهندسین مشاور توان آب

اساسنامه، عنوان کمیسیون به کمیسیون بین‌المللی آبیاری و زهکشی تبدیل گردید و در هشتمین سال تأسیس کمیسیون یاد شده که در سال۱۹۵۷ برگزار شد، تعداد اعضاء آن به ۵۷ کشور رسید و نام کنترل سیلاب و تنظیم جریان نیز به آن افزوده شد. هدف از تشکیل این کمیسیون، ایجاد تحرک و توسعه و کاربرد علوم و فنون آبیاری و زهکشی و کنترل سیلاب و تنظیم‌جریان طبق اصول فنی، اقتصادی و اجتماعی در جهان می‌باشد. این کمیسیون بسیاری از کشورهای پیشرفته و در حال توسعه را در بر می‌گیرد. از آن جا که این کمیسیون، کانونی برای تبادل اطلاعات علمی و فنی و بالابردن سطح دانش فنی‌آبیاری و زهکشی است، در سطح جهانی از ارزش ویژه ای برخوردار است .

کشور ما در سال ۱۳۳٤-۱۹۵۵ طبق پیشنهاد بنگاه مستقل آبیاری سابق به عضویت این کمیسیون درآمد ولی عملاً تا سال ۱۳٤٦ فعالیت چندانی نداشت و علت آن هم قانونی نبودن این عضویت و عدم تشکیل کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران بود، زیرا یکی از شروط مهم عضویت در این کمیسیون بین‌المللی، تشکیل کمیته درسطح ملی می‌باشد. در سال ۱۳٤۷ قانون تشکیل کمیته ملی آبیاری و زهکشی به تصویب مجلسین رسید وآئین‌نامه و سازمان کمیته مذکور پس از تصویب هیئت وزیران به وزارت آب و برق سابق ابلاغ گردید. اهم فعالیت‌های کمیته در پیش از پیروزی انقلاب اسلامی شامل سازماندهی گروه‌های کار و برگزاری پنج سمینار در سطح ملی بوده است.

بعد از پیروزی انقلاب اسلامی سرمایه‌گذاری کلانی در بخش احداث و نگهداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی صورت گرفت و بر همین اساس، لزوم توجه در این زمینه بیشتر احساس شد. سرعت پیشرفت و توسعه علوم مرتبط با آبیاری و زهکشی در دنیا بسیار قابل توجه است. از این روباید در قسمت‌های مطالعات، طراحی‌واجرای شبکه‌ها به گونه‌ای عمل‌گردد که بااستانداردها و یافته‌های جدید جهانی مطابقت داشته باشد.

در همین راستا در سال ۱۳۷۲ با پشتیبانی و تلاش مسؤلان مختلف صنعت آب کشور، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران بعد از توقفی طولانی فعالیت مجدد خود را آغاز نمود. ادامه فعالیت‌های این کمیته در سال‌های اخیر باعث گردید که راه برای گسترش اشاعه فرهنگ فنی آب و نقش آن در توسعه زیربنایی کشور گشوده گردد.

۳ـ اهداف کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

از جمله اهدافی که این کمیته برای دستیابی به آنها تشکیل شده و در راستای تحقق آنها گام برمی‌دارد عبارتند از:

- گسترش فعالیت و بالا بردن دانش و فنون آبیاری و زهکشی؛
- تحقیق و مطالعه در زمینه کنترل سیل و رسوب و تنظیم امور رودخانه‌ها؛
- مدیریت آب و خاک و حفاظت آب و محیط زیست – از نظر مهندسی و مدیریتی در راستای توسعه پایدار؛

- ایجاد هماهنگی با برنامه و هدف‌های کمیسیون بین‌المللی آبیاری وزهکشی؛
- بهره‌گیری از فعالیت‌های فوق در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی؛ و
- مبادله اطلاعات علمی و فنون حرفه ای در زمینه‌های فوق‌الذکر و سایر مواردی که در پیشرفت و بهبود امر آبیاری و زهکشی کشور موثر می باشد.

به منظور دستیابی به اهداف فوق کمیته ملی آبیاری و زهکشی فعالیت‌های خود را به صورت زیر برنامه‌ریزی نموده است:

- تهیه و تدوین آئین نامه و ضوابط لازم جهت انتخاب اعضا از بین افراد، شرکت‌ها، سازمان‌ها و موسسات تحقیقاتی و آموزشی واجد شرایط.
- ایجاد ارتباط و مبادله اطلاعات با کمیسیون بین المللی و کمیته‌های ملی آبیاری و زهکشی سایر کشورهای عضو کمیسیون مذکور، مراکز و بانک‌های اطلاعاتی سازمان‌ها و موسسات داخلی و خارجی ذیربط.
- تشویق و حمایت از پژوهش‌های آبیاری و زهکشی، کنترل سیل و رسوب و امور رودخانه و سایر رشته‌های آب و خاک در جهت پیشرفت و بهبود امر آبیاری و زهکشی کشور.
- حفاظت اراضی در مقابل نفوذ آب شور، حفاظت از محیط زیست ورسیدن به توسعه پایدار در زمینه آب و خاک.
- ارائه راهنمائی‌های فنی در کارهای مطالعاتی و اجرائی.
- تشکیل سمینارها و سمپوزیوم‌ها و کارگاه‌های آبیاری و زهکشی و بحث و تبادل نظر و پاسخگویی به سئوالات فنی و در صورت لزوم طرح مشکلات احتمالی در کنگره‌های بین‌المللی.
- تشکیل کمیته‌های فنی و گروه‌های کار بر حسب ضرورت و تهیه و تدوین دستور کار آنها بر اساس اهداف کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- انتخاب و معرفی هیات نمایندگی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران برای شرکت در جلسات هیئت اجرایی، کنگره‌ها و اجلاس ویژه کمیسیون بین‌المللی بر طبق اساسنامه و آئین نامه‌های کمیسیون مذکور.
- انتخاب و معرفی نمایندگان کمیته برای شرکت در سمینارها، سمپوزیوم‌ها، کنفرانس‌ها و کارگاه‌های کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران و کمیته‌های ملی سایر کشورهای جهان.
- خرید، جمع‌آوری و تمرکز اطلاعات، مدارک فنی، کتب، مجلات و نشریات مربوط به رشته‌های مختلف آبیاری و زهکشی.
- چاپ و انتشار نشریه سالانه، مقالات، مجلات و سایر نشریات فنی مربوط به آبیاری و زهکشی و کنترل سیلاب بر حسب ضرورت.

۴ـ گروه‌های کار فنی و تخصصی کمیته ملی آبیاری و زهکشی

یکی از ارکان اصلی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران گروه‌های کار فنی و تخصصی می‌باشد که از صاحبنظران و اهل فن در بخش‌های مختلف مشاور، اجرا و دانشگاه تشکیل شده‌اند. کار گروه‌هایی که طی سه سال گذشته و برخی از آنها در حال حاضر فعال هستند، عبارتند از:

- ارزیابی عملکرد سیستم‌های آبیاری و زهکشی؛
- تاریخ آبیاری و زهکشی و کنترل سیلاب؛
- سیستم‌های آبیاری در مزرعه؛
- ***زهکشی و محیط زیست؛***
- توسعه و مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی؛
- استفاده پایدارازمنابع آب برای تولیدمحصولات کشاورزی؛
- مشارکت آب‌بران در مدیریت شبکه‌های آبیاری؛
- بخش کارشناسان جوان؛
- کشت آبی در شرایط خشکسالی و کمبود آب؛و
- رهیافت‌های فراگیر مدیریت سیلاب.

۵ـ گروه کار زهکشی و محیط زیست

ساختار گروه کار زهکشی همزمان با تشکیل کمیته ملی آبیاری و زهکشی شکل گرفته و از آن زمان تاکنون در جهت پیشبرد اهداف عالی این نهاد ملی در حال فعالیت می‌باشد. در کنار این گروه کار، گروه کار اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری و زهکشی نیز یکی دیگر از کار گروه‌های تخصصی به شمار می‌رفت که تا سال ۱۳۸٦ به صورت مجزا و در کنار یکدیگر در کمیته ملی فعالیت می‌کردند. اما با توجه به نقش مهم مسائل محیط زیست در زهکشی و ارتباط متقابلی که بر یکدیگر دارند، ترکیب این گروه کار با گروه کار زیست محیطی و تشکیل کار گروهی واحد تحت عنوان" گروه کار زهکشی و محیط زیست " را می‌توان از جمله تحولات سال ۱۳۸۷ در کمیته و در گروه کار زهکشی بیان نمود.

اهم فعالیت‌های این گروه کار در بخش‌های زیر خلاصه می شود:

- چاپ و انتشار کتاب‌های تخصصی در زمینه زهکشی و محیط زیست؛
- انجام بازدیدهای فنی و آشنایی نزدیک با مسائل و مشکلات شبکه‌های زهکشی کشور؛
- برگزاری نشست‌های تخصصی چالش‌های زهکشی؛
- برگزاری کارگاه‌های فنی؛
- اظهار نظر در مورد ضوابط و استانداردهای مربوطه از سوی سازمان‌های مختلف؛
- دعوت از برخی از کارشناسان صاحب نظر و ایجاد فرصت برای ارائه دیدگاه‌های آنها در جلسات گروه کار؛

- همکاری با بخش کارشناسان جوان در برگزاری نشست‌های دانشجویی در دانشگاه‌های کشور؛ و
- پاسخگویی به سوالات فنی از سوی افراد و یا شرکت‌های مربوطه.

۵ـ۱ـ چاپ و انتشار کتاب‌های تخصصی در زمینه زهکشی و محیط زیست

ترجمه و تألیف برخی از کتاب‌ها و نشریات روز در زمینه زهکشی و محیط زیست از جمله فعالیت‌های موثر گروه کار بوده است. از مجموعه انتشارات این گروه کار تاکنون می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- راهنمای احداث زهکش‌های زیرزمینی؛
- مجموعه مقالات کارگاه مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی؛
- مجموعه مقالات دومین کارگاه فنی زهکشی؛
- مدیریت کیفیت زه‌آب‌های کشاورزی؛
- زهکشی؛ کمیت و کیفیت جریان برگشتی؛
- واکنش گیاهان به شوری؛
- نگرشی بر مسائل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی زیرزمینی در ایران؛
- مدیریت آب در کشاورزی؛ پیامدهای اقتصادی- اجتماعی؛
- نظریه‌ها و مدل‌های زهکشی؛
- مواد و مصالح سامانه‌های زهکشی زیرزمینی؛
- مجموعه مقالات سومین کارگاه فنی زهکشی؛
- مجموعه مقالات چهارمین کارگاه فنی زهکشی؛
- مدیریت زهاب کشاورزی در مناطق خشک و نیمه خشک؛
- زهکشی زیرزمینی؛ برنامه‌ریزی، اجرا و بهره‌برداری؛
- راهنمای ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری و زهکشی؛
- تحلیلی بر ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح‌های آبیاری و زهکشی؛
- مفاهیم زهکشی و شوری آب و خاک؛
- مجموعه مقالات همایش جنبه‌های زیست محیطی استفاده از پساب‌ها در آبیاری؛
- مجموعه مقالات همایش اثرات زیست محیطی پساب‌های کشاورزی بر آب‌های سطحی و زیرزمینی؛ و
- مروری بر استانداردها و تجارب استفاده از پساب‌ها برای آبیاری.

۵ـ۲ـ انجام بازدیدهای فنی و آشنایی نزدیک با مسائل و مشکلات شبکه‌های زهکشی کشور

مهمترین اهداف گروه کار از این بازدیدها، تعامل بین کمیته ملی آبیاری و زهکشی به عنوان یک ارگان ملی و فرابخشی و در برگیرنده طیف گسترده‌ای از متخصصان بخش‌های مختلف دانشگاهی، تحقیقاتی، اجرایی، کارشناسی و طراحی با سازمان‌ها و موسساتی که به نحوی در زمینه زهکشی فعالیت دارند، می‌باشد. از

شرکت‌ها و طرح‌های زهکشی که به همت اعضای گروه کار طی دو سال گذشته مورد بازدید قرار گرفته، می‌توان به بازدید از شرکت شهراب گستران اروند (تولید کننده انواع لوله‌ها و اتصالات زهکشی) و بازدید از طرح‌های اجرا شده زهکشی زیر زمینی با استفاده از پوسته برنج در منطقه بهشهر(شرکت ران) و در منطقه آمل (کاپیک) اشاره نمود.

شرکت ران بهشهر

شرکت شهراب

شرکت کاپیک

اراضی شالیزاری

۵ـ۳ـ برگزاری نشست‌های تخصصی چالش‌های زهکشی

یکی از مواردی که همواره مورد نظر گروه کار زهکشی بوده، طرح سوالات و چالش‌هایی است که طراحان و مجریان طرح‌های زهکشی کشور در مراحل مختلف مطالعات، طراحی و اجرا با آن مواجه هستند تا به این وسیله بتواند به ارائه راهکارهای مناسب برای رفع این چالش‌ها و یا مسائل و مشکلات زهکشی بپردازند.

دستیابی به این هدف با تعداد معدود اعضای گروه کار میسر نبوده و مستلزم مشارکت و هم اندیشی کارشناسان و متخصصان کشور در سطح وسیع تر می باشد.

به این منظور گروه کار از برخی از صاحبنظران فن زهکشی و محیط زیست در سطح کشور و در بخش‌های مختلف دعوت به عمل آورده تا طی جلساتی به بحث و تبادل نظر پیرامون مسئله یا مشکلی که به

صورت چالش مطرح شده بپردازند. در این جلسات که معمولا با ۲۰ الی ۳۰ نفر از کارشناسان زهکشی تشکیل می گردد، در ابتدا اعضای گروه کار موضوعات مورد چالش را به صورت سوالاتی عنوان نموده و ذهن افراد شرکت کننده را به آن جهت سوق می دهند. به دنبال آن دیدگاه‌های مختلفی از سوی صاحبنظران مطرح شده و در نهایت یک جمع بندی از موارد عنوان شده به دست خواهد آمد.

گروه کار زهکشی تا کنون موفق به برگزاری پنج نشست تخصصی چالش‌های زهکشی شده است که به اختصار به عنوان و نتایج به دست آمده از هریک آنها اشاره خواهد شد:

لازم به ذکر است گزارش کامل نشست‌های تخصصی اول تا سوم همراه با خلاصه مذاکرات و بحث‌های انجام شده به طور کامل در مجموعه مقالات سومین کارگاه فنی زهکشی در اختیار کارشناسان زهکشی قرار گرفته است. از اینرو در اینجا تنها به نتایج آن‌ها به اجمال اشاره شده و بیشتر به بحث در مورد نشست‌های چهارم و پنجم پرداخته شده است:

۵-۳-۱- نشست اول- بهمن ۱۳۸۰

موضوع : تعدیل ضریب زهکشی، اعمال تخلیه توسط زهکش‌های اصلی، جمع کننده‌ها و زهکشی طبیعی زمین

نتایج :

- بیشتر بودن مقدارضریب زهکشی طراحی نسبت به مقدار واقعی آن در اغلب شبکه‌های زهکشی کشور.
- پیشنهاد احداث زهکش‌های اصلی، بررسی اثرات و تصمیم برای ادامه اجرای طرح.
- پیشنهاد پایش و ارزیابی عملکرد شبکه‌های اجرا شده و استفاده از نتایج حاصله برای طراحی شبکه‌های جدید.
- استفاده از مزارع آزمایشی برای بهینه سازی مبانی و ضوابط طراحی.

۵-۳-۲- نشست دوم- مهر ۱۳۸۱

موضوع: معیارهای طبقه‌بندی شدت نیاز به زهکشی و عمق مناسب کنترل سطح ایستابی

نتایج:

- متناسب کردن معیارهای طبقه بندی شدت نیاز به زهکشی با شرایط خاص اراضی .
- عمیق تر بودن سطح ایستابی در شبکه‌های اجرا شده نسبت به سطح ایستابی مجاز طراحی شده و لزوم گرایش به سمت کاهش عمق مجاز سطح ایستابی در مرحله طراحی.
- کاهش عمق نصب زهکش و عمق کنترل سطح ایستابی به علل:
  - دست بالا گرفتن ضریب زهکشی؛
  - تعداد دفعات آبیاری به علت خشکی؛
  - نکاشت اراضی در دوره ای از سال؛ و
  - هزینه.

۵-۳-۳- نشست سوم- خرداد ۱۳۸۳

موضوع: تجارب حاصل از بکارگیری روش‌های مختلف اندازه‌گیری هدایت هیدرولیک و مقایسه آنها

نتایج:

- پیشنهاد ارزیابی نتایج اندازه گیری نقطه ای در مزارع آزمایشی در پروژه‌های بزرگ و تعدیل تعداد اندازه‌گیری با استفاده از نتایج آزمایشات در این مزارع.
- قابل اطمینان‌تر بودن نتایج حاصل از روش چاهک، بدلیل برقرار بودن وضعیت مشابه شرایط زهکشی.
- رضایت بخش نبودن نتایج حاصل ازروش پمپاژ به چاهک سطحی.
- توصیه استفاده از روش‌های پورشه و گلف برای شرایط بالای سطح ایستابی .

۵-۳-۴- نشست چهارم- بهمن ۱۳۸۵

موضوع: روش‌های استفاده مجدد از زه آب، کاهش حجم و ارتقاء کیفیت آنها

گروه کار زهکشی موضوع فوق را در چهارمین جلسه نشست چالش‌ها در ۲۵ بهمن ماه سال ۱۳۸۵، با حضور کارشناسان و اساتید صاحبنظر در زمینه زهکشی به چالش گذاشت. در این جلسه ۲۰ نفر از کارشناسان خبره زهکشی در محل سالن کمیته ملی آبیاری و زهکشی گرد هم آمدند و به بحث و تبادل نظر پرداختند. طبق برنامه ریزی انجام شده، افتتاح جلسه توسط آقای دکتر پذیرا انجام شد و سپس آقای مهندس آذری خلاصه ای از موضوعات جلسه‌های گذشته نشست چالش‌ها و نتایج و اثرات برگزاری این نشست‌ها را مطرح نمودند. در ادامه آقای دکتر حسن اقلی مطالبی در زمینه زه آب‌های کشاورزی و روش‌های استفاده مجدد از این زه آب‌ها را ارائه نمودند . پس از آن آقای مهندس اکرم نیز ضمن صحبت پیرامون زهکشی در ایران و به ویژه در خوزستان و اثرات آن بر محیط زیست و نمایش تصاویری از زه آب‌های کشاورزی و حجم زیاد تولید زه آب‌ها در مورد روش‌های زهکشی دوستدار محیط زیست مطالبی را بیان نمودند. به این ترتیب شروع بحث چالشها در چهارچوب صحبت‌های انجام شده و بر محور یت سه سوال زیر قرار گرفت.

۱- با زه آب‌های تولیدی در مناطق مختلف کشور (بخصوص در خوزستان) چه باید کرد؟

۲- چگونه می توان حجم زه آب تولیدی را کاهش داد؟ راه حل‌های عملی و پیشنهادی کدام است؟

۳- از چه طریق می توان کیفیت زه آب‌های تولیدی را ارتقاء داد؟

۵-۴- برگزاری کارگاه‌های فنی

هدف گروه کار از برپایی کارگاه‌های آموزشی فراهم نمودن بستری برای اشاعه دانش و فن زهکشی و در اختیار قرار دادن اطلاعات تحولات زهکشی در سطح کشور و جهان به مدیران، کارشناسان و دانشجویان رشته‌های آبیاری و زهکشی و سایر نهادهای مرتبط در این زمینه است.

به منظور تحقق این اهداف تا کنون ٤ کارگاه فنی زهکشی با مشخصات زیر برگزار شده است.

- اولین کارگاه با عنوان نگرشی بر مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی- خرداد ماه ۱۳۷۸
- دومین کارگاه – اردیبهشت ماه ۱۳۸۰
- سومین کارگاه- مهر ماه ۱۳۸۳
- چهارمین کارگاه با تاکید بر مسائل محیط زیست - آبان ماه ۱۳۸۵

در همین راستا، پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست نیز در آبان ماه سال جاری برگزار می گردد.

۵ـ۴ـ۱ـ پنجمین کار گاه فنی زهکشی و محیط زیست-آبان ماه ۱۳۸۷

با توجه به فراخوان ارائه مقاله برای برگزاری این کارگاه تا پایان شهریور ماه ٤۰ چکیده مقاله برای گروه کار زهکشی ارسال گردید. طی داوری این مقالات توسط اعضای گروه کار، ۱۸ مقاله مورد پذیرش اولیه قرار گرفت که از میان آنها ۹ مقاله برای ارائه شفاهی و سه مقاله برای چاپ در مجموعه مقالات برگزیده شد.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

مدیریت آبیاری و زهکشی در شالیزارها با توجه به ویژگی‌های بیولوژیکی برنج (*Oryza sativa*)[۱]

ابراهیم پذیرا[۲]

۱ـ مقدمه

به جرات می‌توان گفت که پس از گندم، برنج گیاهی است که می‌تواند در محدوده وسیعی از ویژگی‌های اقلیمی رشد و نمو نماید. بطور کلی، برنج در تمامی قاره‌ها، بجز در نواحی قطبی می‌تواند کشت شود. این گیاه را می‌توان در مناطق خشک، همانند گندم و ذرت، بصورت دیم و فقط از طریق غرقاب و خشکی با تناوب زیاد، یا در شرایط استغراق طبیعی کشت کرد. کشاورزان نسبت به کاشت برنج در جلگه‌های رسوبی، دشت‌های سیلابی و در تراس‌های زمین‌های کوهپایه‌ای اقدام می‌نمایند. هرچند میزان مقاومت به خشکی این گیاه از سایر غلات کمتر است، لیکن در نواحی خشک قاره آسیا و شمال قاره افریقا با موفقیت کشت می‌شود. با وجود حساسیت گیاه برنج به دمای کم محیط، عملکردآن در بخش‌های شمالی ژاپن، چین و حتی در مناطق با ارتفاع بیش از ۳۰۰۰ متر از سطح دریا، همانند نواحی استوایی و نیمه‌استوایی قابل ملاحظه است. اغلب خاک‌های شالیزاری در مناطق کم‌ارتفاع (پست) قرار دارند. بدین ترتیب، می‌توان آب آبیاری را از زمین‌های بالاتر دریافت و مصرف نمود. اراضی با خاک‌های مرطوب (خیس‌زاری)، شامل دشت‌های رسوبی مسطح، تراس‌ها، کوهپایه‌های مرزبندی شده و یا حتی خاک‌های زراعی مناطق مرتفع هستند، هر چند که در اکثر شرایط، زمین‌های شالیزاری در واحدهای فیزیوگرافی جلگه‌های رسوبی و سیلابی، مناطق دلتایی، زمین‌های ساحلی، کفه‌های جزر و مدّی، خاک‌های باتلاقی (خیس‌زاری) و بطور

۱- ارایه شده در پنجمین کارگاه زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران- تهران ۱۳۸۷.

۲- عضو گروه کار زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، عضو هیئت علمی و مدیر گروه واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران

عمده دشت‌های رسوبی رودخانه‌ای قرار دارند. در کلیه نواحی گفته شده، رژیم رطوبتی "آکویک" که نشانگر رطوبت زیاد و کمبود نسبی اکسیژن است، برقرار می‌باشد. لزوم فراهم بودن رطوبت زیاد و نیاز به اکسیژن کم، موجب گردیده تا ویژگی‌های خاک‌های شالیزاری، در مقایسه با مناطق مرتفع و یا خشکه‌زاری تحت کشت برنج دارای دامنه تغییرات نسبی کمتری باشند.

۲ـ محیط مطلوب برای زراعت برنج

۲ـ۱ـ شرایط اقلیمی

همان طور که گفته شد، برنج قادر است در محدوده وسیعی از شرایط آب و هوایی، بویژه در اقالیم معتدل تا گرم استوایی رشد کند. عملکرد برنج، به طول دوره تابش خورشید و بویژه در مدت ٤٥ روز قبل از برداشت وابسته است. در این ایام، نباید کاهش ناگهانی درجه حرارت و وزش بادهای تند اتفاق بیفتد.

جوانه زدن بذر گیاه برنج، در دمای خاک کمتر از ۱۲ درجه سانتیگراد با اشکال مواجه می‌گردد. شرایط مطلوب رشد و نمو این گیاه در محدوده‌ی حرارتی بین ٢٤ تا ٣٦ درجه سانتیگراد است. تغییرات دمای روزانه و شبانه در دوره گلدهی و تولید محصول (دانه بستن) باید به مقدار حداقل باشد. درجه حرارت آب آبیاری زراعت برنج بایستی بیشتر از ۱۸ درجه سانتیگراد باشد، این گیاه به یخبندان بسیار حساس می‌باشد، زیرا سرما موجب عقیم شدن خوشه‌های گیاه می‌گردد. مقادیر مطلوب بارندگی برای زراعت دیم (بدون آبیاری اصولی یا تکمیلی) این گیاه بیشتر از ١٦٠٠ میلیمتر در سال گزارش شده است. شرایط خشکی در مدت زمان بین ۸ تا ۱۲ روز در هنگام گل‌دهی و یا در دوره بلوغ می‌تواند برروی عملکرد محصول اثرات نامطلوبی بر جای گذارد.

۲ـ۲ـ ویژگی‌های خاک و اراضی

بطور کلی باید گفت که در مورد زراعت برنج، اعمال مدیریت نقشی مهمتر از ویژگی‌های اقلیمی و خصوصیات خاک و اراضی است. زراعت برنج در انواع متنوعی از خاک‌ها متداول است. این گیاه در خاک‌های سنگین با بافت رسی تا خاک‌های نسبتاً سبک لومی شنی می‌روید. خاک‌های حاصل از نهشته‌های آبرفتی که دارای بافت سنگین می‌باشند، بطور معمول مناسب‌تر از خاک‌های با بافت سبک هستند. در هر صورت، خاک باید برای اجرای عملیات "گلخرابی"[1] و نگهداری سطح ایستابی در زیر سطح خاک در دوره رشد رویشی ونیز زهکشی سطحی در دوره رسیدن و برداشت محصول را داشته باشد. خاک‌های با زهکشی داخلی نامناسب تا نسبتاً خوب مناسبترند. نفوذپذیری مطلوب لایه زیرین خاک کمتر از ۰/٥ سانتیمتر در ساعت است. خاک‌هایی که به زراعت برنج اختصاص می‌یابند، کمتر دربرابر خطرات

1- Puddling.

فرسایش قرار دارند.

۲ـ۳ـ وضعیت عناصر غذایی

بدلیل وجود شرایط غیرهوازی در خاک، تجزیه و تغییر شکل مواد آلی در آن کاهش می یابد. نیتروژن (N) بوسیله جلبک‌های سبز ـ آبی و باکتری‌ها در خاک تثبیت می‌شود. از این رو، علایم کمبود نیتروژن (N) و فسفر (P) در گیاه ظاهر می‌گردد. کمبود عناصر غذایی دیگری نظیر پتاسیم (K) و گوگرد(S) نیز ممکن است در محدوده‌هایی ظاهر شود. همچنین علایم کمبود سیلیس (Si) در خاک‌های تورب (پیت) قابل مشاهده می‌باشد.

برنج نیازمند مقادیر زیادی نیتروژن (N) است و خاک شالیزار بایدازدرجه حاصلخیزی متوسط تا زیادی برخوردار باشد.

مصرف زراعت برنج برای دستیابی به عملکرد ۳/٤ تن در هکتار برای ترکیبات غذایی نیتروژن (N)، فسفر (P_2O_5) و پتاسیم (K_2O) به ترتیب معادل ٥٤ ، ٦٠ و ٥٥ کیلوگرم در هکتار در یک دوره زراعی است.

۲-۴- کیفیت آب آبیاری

برای عملکرد مطلوب زراعت برنج، مقدار زیادی آب مورد نیاز است. مصرف آب‌های نامناسب، موجب بروز و یا توسعه مشکلاتی در خاک می‌گردد که پیامد آن کاهش عملکرد محصول است. برخی از مسایل شاخص خاک که بر گیاه برنج موثر است، شامل اثرات شوری، کمبود روی (Zn)، فسفر (P) و وفور سدیم (Na) است.

مشکل شوری، ویژگی مناطق خشک و نیمه خشک جهان است که کم و بیش در نواحی برنج کاری این مناطق نیز وجود دارد.

تراکم شوری در خاک که بوسیله نمک‌های آب آبیاری ایجاد می‌گردد، گاهی سریعتر از فرایند شوری‌زدایی طبیعی خاک‌هاست. هرچند عامل اصلی تجمع نمک‌ها در خاک، آب آبیاری است، لیکن کاربرد کودهای شیمیایی، کودهای دامی و مواد زاید دیگر نیز می‌تواند در تجمع نمک‌ها در نیمرخ خاک تأثیرگذار باشد. نمک‌های محلول موجد مشکل شوری، بطور معمول شامل کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na)، کلر (Cl)، سولفات (SO_4) و نیترات (NO_3) است.

برنج در مرحله رشد گیاهچه، نسبت به نمک‌های کلرور و نیترات بسیار حساس است. مسایل مرتبط با سدیم، علاوه بر آب آبیاری، وابسته به طبیعت بعضی از انواع خاک‌ها و نواحی خاصی است. زیادی میزان سدیم می‌تواند برروی خصوصیات فیزیکی خاک‌ها آن چنان اثرات نامطلوبی برجای گذارد که حتی استقرار گیاه در خاک نیز مختل گردد.

گرایش خاک‌ها بهpH بالا، ناشی ازاستفاده از آب‌های با غلظت زیاد کلسیم، منیزیم و بیکربنات می‌باشد. با نفوذ آب به خاک، نمک‌های بیکربنات، به کربنات کلسیم و منیزیم تبدیل گردیده و رسوب می‌نمایند. به این ترتیب، واکنش (pH) محلول خاک افزایش حاصل می‌نماید. میزان pH در محل ورود جریان زیاد و در

پایین‌دست کمتر می‌شود.به این ترتیب،امکان بروز مشکل توامان افزایش شوری و قلیائیت در خاک پیش می‌آید.

تجزیه آب می‌تواند اقدامی موثر در تشخیص مسایل و پتانسیل بروز مشکلات گردد. برخی از این پارامترها شامل تعیین غلظت کلسیم، بیکربنات، کلر، هدایت الکتریکی (ECw) و نسبت جذب سدیم (SAR) می‌باشند.

جدول (۱)ـ راهنمای عمومی تناسب کیفیت آب آبیاری برای زراعت برنج

ردیف	متغیرهای کیفیت آب	مقادیر لازم به توجه برای اعمال ملاحظات	شرح ملاحظات
۱	کلسیم (Ca) بیکربنات (HCO_3)	$> ۶۰ ppm (> ۳ meq/l)$ $> ۳۰۵ ppm (> ۵ meq/l)$	این آنیون‌ها بصورت مشترک می‌تواند موجب افزایش واکنش (pH) خاک در محل آبگیری و ورود جریان آب به مزرعه گردند، که در نتیجه آن کمبود عناصر روی (Zn) و فسفر (P) در خاک‌های لومی سیلتی متصور است.
۲	هدایت الکتریکی (ECw) [پس از رسوب آهک]	$> ۷۷۰ ppm$ $(> ۱/۲۰ dS/m)$	باعث افزایش میزان شوری خاک گردیده که در نتیجه آن به گیاهچه‌های برنج خسارت وارد و یا باعث از بین رفتن آنها می‌شود.
۳	کلر (Cl)	$> ۱۰۰ ppm (> ۳ meq/l)$	بر روی اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) مؤثر است و مقادیر زیاد کلر به تنهایی می‌تواند بروی گیاهان خانواده بقولات در تناوب زراعی با گیاه برنج خسارت وارد نماید.
٤	نسبت جذب سدیم (SAR)	$> ۱۰ (meq/l)^{۰/۵}$	موجب ایجاد خاک سدیمی گردید، که ویژگی‌های فیزیکی نامطلوبی دارد.

* ppm = قسمت در میلیون

$$SAR = Na / [0/5(Ca + Mg)]^{-0/5} \; ; \; Na, Ca, Mg (meq/l)$$

با عنایت بر موارد مندرج در جدول می‌توان ارزیابی اجمالی کیفیت آب آبیاری را بشرح زیر خلاصه نمود.

- غلظت کلسیم و بیکربنات، می‌تواند برای برآورد میزان آهکی که در خاک رسوب خواهد نمود، مورد استفاده قرار گیرد. همچنین افزایش pH خاک را در صورت استفاده طولانی مدت می‌توان پیش‌بینی کرد.
- هدایت الکتریکی، نشانگر مجموع نمک‌های محلول در آب آبیاری می‌باشد و از طریق آن می‌توان برآوردی از پتانسیل خسارت شوری به گیاه برنج را بدست آورد.
- غلظت کلر، بدلیل پتانسیل ایجاد مسمومیت برای گیاهان خانواده بقولات که در تناوب زراعی پس از

زراعت برنج قرار می‌گیرند، با اهمیت می‌باشد.

- نسبت جذب سدیم (SAR) بالا، نشانه این است که کاربرد طولانی مدت آب آبیاری می‌تواند خاک را سدیمی کند.

۲-۵- اثرات و خسارات شوری برگیاه برنج

- **آثار و علائم شاخص**

- نوک برگ‌ها برنگ سفید در می‌آید.
- لکه‌های کلروزه در بعضی از برگ‌ها ظاهر می‌گردد.
- رشد رویشی گیاه و پنجه زدن بوته‌ها کند و یا متوقف می‌شود.
- درمزرعه لکه‌های بدون پوشش گیاهی مشاهده می‌گردد.
- علایم خسارت ابتدا در برگ‌های اولیه، سپس در برگ‌های جوان و سرانجام در برگ‌های درحال رشد ظاهر می‌شود.
- علایم"شوری"و یا"سدیمی بودن" ممکن است بهمراه علائم کمبود فسفر (P)، روی (Zn) و آهن (Fe) و اثرات مسمومیت[1] یون بُر (B) باشد.

- **سایر اثرات بر روی رشد و نمو گیاه**

- کاهش در مقدار جوانه‌زنی بذر
- تأثیرگذاری برروی اعمال زیستی مانند تنفس[2] و فتوسنتز گیاهی[3]
- کاهش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن (N_2) و معدنی شدن آن (N) در خاک
- کاهش ارتفاع بوته‌ها و تعداد پنجه‌های گیاهی
- رشد ضعیف ریشه‌ها
- افزایش میزان عقیم شدن[4] خوشه‌های گیاه برنج
- کاهش وزن هزاردانه و کل میزان پروتئین در دانه
- عدم تأثیر بر پخت برنج

از طریق آزمون گیاه و یا خاک می‌توان اثرات و خسارت شوری را برروی گیاه تأیید نمود بطوریکه : افزایش سدیم (Na) در بوته‌های گیاه برنج ممکن است نمایانگر خسارت ناشی از شوری باشد، که در نتیجه آن کاهش عملکرد محصول بوقوع می‌پیوندد. میزان بحرانی غلظت کلرور سدیم (Na Cl) در بافت‌های برگ

1- Toxicity.
2- Respiration.
3- Photosynthesis.
4- Sterility.

با علایم مسمومیت در ارقام متفاوت، مختلف می‌باشد. نوعی همبستگی بین نسبت سدیم به پتاسیم (Na : K) و مقاومت به شوری برقرار می‌باشد. نسبت سدیم به پتاسیم (Na : K) بیشتر از ۲:۱ در دانه برنج ممکن است معرف ارقام مقاوم به شوری باشد.

نسبت سدیم به کلسیم (Na : Ca)در بافت گیاه مشخصهٔ مناسبی برای شوری نیست.

۲-۶- مدیریت در عملیات آبیاری

ابتدا لازم است سطح مزرعه بمدت ٤-۲ هفته قبل از کشت برنج بصورت مستغرق نگهداری شود. همچنین باید از کاربرد آب‌های سدیمی، بصورت مستقیم و یا متناوب اجتناب نمود. در مناطق کم‌آب باید آب حاصل از بارندگی را برای کاربرد در دوره‌های خشکی برای آبیاری ذخیره نمود. در مناطق ساحلی لازم است از پدیده تداخل آب شور دریا با آب‌های زیرزمینی غیر شور جلوگیری نمود.

۲-۷- کاربرد کودهای شیمیایی

برای جلوگیری از بروز کمبود روی در گیاه، کاربرد روی (Zn) به میزان۱۰-۵ کیلوگرم (خالص) در هکتار لازم است. مقادیر کافی فسفر (P)، نیتروژن (N) و پتاسیم (K) بایستی برای کاربرد در زراعت برنج اختصاص داده شود. کاربرد پتاسیم (K) ضرورت کامل دارد تا نسبت‌های پتاسیم به سدیم (K:Na)، پتاسیم به منیزیم (K:Mg) و پتاسیم به کلسیم (K:Ca) در حدود مطلوب ایجاد شود. سولفات آمونیم منبع نیتروژن (N) مناسب است. کاربرد نیتروژن (N) بایستی بصورت سرک و در چند نوبت متناوب باشد. مصرف نیتروژن قبل از کشت در خاک‌های شور و سدیمی نتایج مطلوب و مورد انتظار را حاصل نمی‌نماید. در خاک‌های سدیمی، جایگزینی سدیم (Na) با کلسیم (Ca) از طریق کاربرد گچ ممکن است موجب کاهش فسفر (P) در دسترس گردد.

۳- برآورد نیاز آبی گیاه برنج

ناخالص نیاز آبی برنج بصورت مجموع مقادیر تبخیر و تعرق[1] و تراوشات عمقی[2] است. تبخیر و تعرق عبارت از کمیت آبی است که برای تبخیر[3] از سطح آب و یا خاک در مزرعه و یا تعرق[4] گیاه به مصرف می‌رسد.

فرایند تبخیر و تعرق بطور عمده بوسیله شرایط اقلیمی تعیین می‌گردد؛ بطوریکه این پدیده بیشتر مرتبط با دریافت

1- Evapotranspiration.
2- Percolation.
3- Evaporation.
4- Transpiration.

انرژی خورشیدی بوسیله گیاه و سطح خاک است.

در روش اندازه‌گیری تبخیر و تعرق برنج بوسیله لایسیمتر بهتر آنست که سه عدد لایسیمتر با مشخصات زیر در هر محل نصب گردد.

(A) لایسیمتر بدون کف و دارای گیاه که از طریق آن می‌توان ET+P را برآورد نمود.

(B) لایسیمتر بدون کف و بدون گیاه که بوسیله آن امکان محاسبه E+P فراهم است.

(C) لایسیمتر دارای کف لیکن فاقد گیاه که از طریق آن فقط می‌توان مقدار E را اندازه‌گیری نمود.

برای اندازه‌گیری آب مورد نیاز در روش لایسیمتری معادله کلی زیر را می‌توان ارایه داد:

$$ET = A-(B-C) \qquad (۱-۱)$$

$$ET = ET+P-E-P+E=(E+T) \qquad (۱-۲)$$

که در آن :

ET ، تبخیر و تعرق گیاه

P ، تراوشات یا نفوذ عمقی

E ، میزان تبخیر از لایسیمتر بدون گیاه

T ، تعرق گیاه درون لایسیمتر

با ملاحظه کاهش سطح آب در لایسیمتر می‌توان تبخیر و تعرق (ET) را برآورد نمود.

برای محاسبه نسبت تبخیر و تعرق (R)[1] در سطح مزرعه آزمایشی، می‌توان رابطه زیر را بکار برد:

$$\frac{ET}{Eo} = R \quad , \quad ET = Eo \times R \qquad (۱-۳)$$

که در آن:

ET ، میزان تبخیر و تعرق برحسب (میلیمتر در روز)

Eo ، تبخیر از سطح طشتک کلاس (A) برحسب (میلیمتر در روز)

R ، نسبت مربوطه (بدون بُعد)

بدلیل آنکه میزان تبخیر (Eo) را می‌توان بطور روزانه دردست داشت، با جایگزینی آن در معادله (۱-۳) می‌توان مقدار ET را بدست آورد.

تذکر : تبخیر و تعرق گیاهی و تبخیر از سطح طشتک کلاس (A) با زمان (روزانه، ماهیانه یا فصلی) تغییر می‌نماید. بدین دلیل مقدار عددی (R) نیز غیرثابت خواهد بود. بنابراین تنها با انجام اندازه‌گیری‌های لازم، و ثبت مشاهدات می‌توان برای دوره‌های متفاوت رشد و نمو گیاه نوعی رابطه تجربی (خطی یا غیرخطی) برای جفت‌های متناظر Eo و ET برقرار نموده و از نتایج حاصله در برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد.

1- Evapotranspiration Ratio.

- **تراوشات یا نفوذ عمقی**

عبارت از میزان آبی است که می‌تواند بسمت پایین در خاک نفوذ نماید و مقدار آن تابعی از بافت خاک و عمق سطح ایستابی می‌باشد. میزان آن می‌تواند از حدود ۱ میلیمتر در روز در خاکهای رسی تا مقدار ۵۰ میلیمتر در روز در خاک‌های شنی متغیر باشد.

- **عوامل موثر بر میزان نفوذ یا تراوشات عمقی در مزرعه**

- خاک‌های ریز بافت دارای مقادیر نفوذپذیری بیشتری از خاک‌های درشت بافت هستند. همچنین خاک‌هایی با ساختمان ستونی دارای نفوذ عمقی زیادتری در مقایسه با خاک‌های با ساختمان متراکم می‌باشند.
- ارتفاع سطح ایستابی در مزرعه، هرچه عمق تیغه آب کمتر باشد، مقدار تراوشات عمقی آن کمتر است.
- نفوذپذیری خاک، مقدار تراوشات عمقی بطور مستقیم با میزان نفوذپذیری یا هدایت هیدرولیکی قایم اشباع خاک تغییر می‌نماید.
- عمق استقرار لایه محدوده کننده ، هر چه لایه غیرقابل نفوذ کم عمق‌تر باشد میزان تراوشات عمقی کمتر است.

۴- کاربرد آب آبیاری

۴-۱- روش‌های افزایش آب به مزارع شالیزاری

- **روش استغراق دایم**[1]

در این روش، مزرعه برنج از هنگام نشاء کاری تا دو هفته قبل از برداشت بصورت غرقاب دایم نگهداری می‌گردد.

- **روش آبیاری متناوب**[2]

در این روش استغراق متناوب بهمراه زهکشی سطحی به انجام می‌رسد، بطوریکه سطح خاک تا تناوب بعدی آبیاری بصورت غیرمستغرق در می‌آید.

1 - Continuaus Submergence.
2 - Intermittent Irrigation.

۴-۲- مزایای آبیاری متناوب در مزارع شالیزاری

- موجب تهویه خاک مزرعه گردیده و از ایجاد مواد سمی و سایر ترکیبات زیان‌آور جلوگیری می‌شود.
- موجب صرفه‌جویی در میزان آب مصرفی گیاه می‌گردد.
- مشکلات زهکشی را کاهش می‌دهد.

۴-۳- معایب اعمال آبیاری متناوب در مزارع شالیزاری

- به نظارت یا مدیریت آبیاری دقیق‌تری نیاز دارد.
- کنترل و دفع علف‌های هرز (آب دوست) مزرعه برنج به هزینه بیشتری نیاز دارد.

۴-۴- توصیه‌های ضروری در مورد روش‌های آبیاری

- در صورت عدم وجود نتایج قطعی در مورد اختلاف عملکرد در دو روش آبیاری و مشروط به کنترل مطلوب علف‌های هرز، در شرایط خشکی یا کم‌آبی و یا برای خاک‌های نفوذپذیر، آبیاری متناوب توصیه می‌گردد.
- برای تأمین کامل آب مورد نیاز گیاه، اشباع نمودن خاک کفایت می‌نماید. در پنج روز اول پس از انتقال نشاء، مزرعه برنج باید در اشباع کامل باشد. عدم اجرای این امر باعث بروز خسارت به گیاهچه‌های جوان خواهد شد. این تنش آبی قابل جبران نبوده و جمعیت بوته‌های جوان کاهش خواهد یافت.
- حداکثر میزان تحمل گیاه برنج به شرایط استغراقی بشرح زیر توصیه گردیده است.

جدول (۲)- حداکثر میزان تحمل گیاه برنج به شرایط عمق آب استغراقی

ردیف	مراحل مختلف رشد گیاه	تحمل گیاه به عمق استغراق (سانتیمتر)
۱	از زمان نشاء کاری تا مراحل اولیه پنجه زدن*	۵-۲
۲	شرایط پنجه زنی فعال*	۱۰-۵
۳	حداکثر فعالیت پنجه زنی	۱۵
٤	قبل از دوره خشکی	۱۵

* مرتبط با ارتفاع بوته‌ها (گیاهچه‌ها) می‌باشد.

- حداکثر طول دوره‌هایی که مزرعه برنج می‌تواند در شرایط غیراشباع قرار گیرد در جدول زیر ارایه شده است.

جدول (۳)- حداکثر طول دوره های تحمل گیاه برنج به شرایط غیراستاندارد رطوبتی

ارقام متن جدول برحسب روز است

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

۵- بارندگی مؤثر[1]

طبق تعریف به مقداری از باران که بطور موثردر محدوده اراضی مورد آبیاری به مصرف واقعی گیاه می‌رسد، بارندگی موثر گفته می‌شود.

۵-۱- عوامل اثرگذار بر میزان بارندگی موثر

- شدت ریزش و توزیع زمانی بارش
- عمق تیغه آب در قطعات زراعی برنج
- اندازه و چگونگی نگهداری پشته‌های قطعات زراعی
- روش آبیاری و تناوب انتقال آب به مزارع
- وضعیت توپوگرافی اراضی
- تأسیسات و تجهیزات زهکشی مزارع

۵-۲- روش‌های افزایش مقدار بارندگی موثر

- توسعه و مرمت پشته‌های مزرعه منتج به افزایش میزان ذخیره آب[2] در سطح قطعات زراعی خواهد شد. در جدول زیر حداقل ارتفاع پشته‌ها (ارتفاع سطح سرریز[3] از کف مزرعه) در مراحل مختلف رشد نشان داده شده است.

1- Effective Rainfall.
2- Pondage.
3- Spillway.

جدول (٤)- ارتفاع سطح سرریز قطعات زراعی برنج در مراحل متفاوت

ردیف	مراحل رویش گیاه و یا اجرای عملیات مدیریت آبیاری	ارتفاع توصیه شده پشته در قطعات شالیزاری (سانتیمتر)
۱	خیساندن مزرعه و آماده سازی قطعات زراعی شالیزاری	۱۵
۲	از دوره نشاء کاری تا مراحل اولیه پنجه زدن*	۵-۲
۳	دوره پنجه زدن فعال*	۱۰-۵
٤	دوره حداکثر پنجه زنی تا دوره خشکی	۱۵
۵	مرحله زهکشی نهایی (۱۰-۱٤ روز قبل از برداشت محصول شالی)	۰

* مرتبط با ارتفاع بوته های گیاه است.

بطور کلی هرچند مرمت پشته‌های مزرعه موجب افزایش میزان ذخیره آب در سطح قطعات خواهد شد، لیکن محدودیت‌هایی نیز برای عمق آب در مراحل مختلف رشد وجود دارد. به این منظور ضرورت دارد که نسبت به ساخت یا احداث نوعی سرریز بمنظور کنترل عمق آب در مزارع برنج اقدام نمود.

- **تطبیق برنامه آبیاری تعلیقی[1] برای آبیاری برنج**

ریزش باران بر سطح مزارع برنج که قطعات زراعی مسطحی می‌باشند که بوسیله پشته‌هایی از یکدیگر مجزا و دارای ظرفیت ذخیره آبی می‌باشند، موجب گردیده تا بتوان نسبت به تنظیم برنامه آبیاری تعلیقی بشرح جدول زیر اقدام نمود.

جدول (۵)- روزهای تعلیق عملیات آبیاری برای مقادیر متفاوت بارندگی روز قبل

ردیف	محدوده های ریزش بارندگی روز قبل (میلیمتر)	ایامی که آبیاری می‌تواند تعلیق یا متوقف شود. (روز)
۱	۱۰-۵	۱
۲	۱۱-۱۸	۲
۳	۱۹-۲۷	۳
٤	۲۸-۳٦	٤
۵	۳۷-٤۵	۵
٦	>٤۵	٦

* تذکر: ارقام این جدول بدون تعدیل‌های محیطی نمی‌تواند کاربردی مستقیم داشته باشد و فقط بعنوان اطلاعات راهنما ارایه شده است.

1- Suspension Schedule.

- **کاربرد متناوب آب آبیاری**

در کاربرد متناوب آب آبیاری، گاهی تیغه آب ناچیز است. بدین دلیل شانس دریافت مقادیر بیشتری از بارش همواره وجوددارد.

- **اجرای دقیق عملیات تسطیح قطعات اراضی شالیزاری**

مزارع تسطیح شده در مقایسه با سایر مزارع ، مقادیر بیشتری آب زا در خود ذخیره می کنند. در نتیجه قطعات اراضی شیب دار موجب هدررفت مقادیر آب بارندگی بصورت روان آب سطحی از محل سرریز قطعات زراعی می‌گردند.

۵-۳- روش برآورد میزان بارندگی موثر در محدوده مورد نظر

- ارقام میزان بارندگی ماهیانه و روزانه باید دارای حداقل ده سال آماربباشد.
- نسبت به ترسیم منحنی تغییرات ماهیانه بارش در طول سال اقدام شود.
- برروی نمودار مذکور، فصول خشک و مرطوب را انتخاب کرد.
- جدولی تهیه کرد که نمایانگر متوسط بارندگی روزانه وتعداد روزهای بارانی در هر دوره ده روزه و یا هفتگی باشد.
- با فرض اینکه در محدوده مورد نظر تبخیر و تعرق روزانه ٦ میلیمتر و مقدار تراوشات عمقی نیز برابر با ۲/۰ میلیمتر در روز باشد، ملاحظه می‌گردد که مقادیر بارندگی افزون بر ۸۰ میلیمتر در یک دوره ده روزه نمی‌تواند بطور موثری مورد استفاده قرار گیرد و در صورتی که مقدار بارندگی ده روزه کمتر از ۸۰ میلیمتر باشد، درصد بارندگی موثر آن ایام ۱۰۰٪ خواهد بود. هرگاه بعنوان مثال در دهه سوم خرداد ماه متوسط بارندگی ده ساله برابر با ۹۰/٤ میلیمتر باشد درصد بارندگی موثر این دوره [۱۰۰×(۹۰/٤÷۸۰)] برابر با ۸۸/٥٪ خواهد بود و این بدان معنی است که مقدار ۱۰/٤ میلیمتر بارندگی در این دوره (ده روزه) غیر موثر می‌باشد.
- هرگاه بعنوان نمونه متوسط بارندگی در فصل مرطوب برابر با ۱۷۳۸ میلیمتر و برای فصل خشک ۳۰۹/۲ میلیمتر باشد، مقادیر بارندگی موثر این فصول به ترتیب ۱۳۱۰ و ۳۰۹/۲ میلیمتر خواهد بود. برای محاسبه معدل روزانه بارندگی مؤثر در فصول مرطوبی و خشک می‌توان از روش‌های مرسوم و متعارف استفاده نمود.

۵-۴- تعیین دوره‌های زمانی ایام مرطوب و خشک سال

برای تعیین دوره‌های مرطوب و خشک سال، ارقام میزان بارندگی و متوسط درجه حرارت ماهیانه انتخاب می‌شود. طول دوره آماری باید حداقل ده سال باشد. برای ترسیم منحنی تغییرات بارندگی (میلیمتر) و متوسط

درجه حرارت (سانتیگراد) نسبت به زمان، در یکی از محورهای قایم این نمودار، بارندگی ماهانه به صورت T2 = P و در محور قایم دیگر، دما منظور می‌گردد. این نمودار بنام **"منحنی آمبروترمیک[1]"** دانسته می‌شود و ایام زمانی دوره‌های مرطوب و خشک سال را نمودار می‌سازد. اعمال دقت برای انتخاب ماه شروع نمودار (ژانویه) و خاتمه آن (دسامبر) ضروری است.

۶- سطح زیرکشت و عملکرد محصول شلتوک در استان‌های انتخابی کشور

سطح زیرکشت انواع ارقام شلتوک در کشور حدود ٦٢٨١٠٥ هکتاربا تولید سالیانه ٢/٧٤ میلیون تن گزارش شده است. گستره کشت برنج در بیست و یک استان گزارش گردیده که استان‌های مازندران و یزد به ترتیب با دارا بودن ٢٠١٧٩٣ و ١٥ هکتار بیشترین و کمترین مساحت برنج کاری در کشور را دارا می‌باشند. متوسط میزان عملکرد محصول در سطح کشور ٤/٣٦ تن در هکتاراست. استان‌های اصفهان و اردبیل و به ترتیب با دارا بودن عملکردهایی معادل ٥/٥٩٥ و ١/٨٤٥ تن در هکتار در جایگاه‌های نخست و آخر قرار دارند. با توجه پراکنش جغرافیایی مناطق برنج کاری در ایران پنج استان مازندران، گیلان، گلستان، فارس و خوزستان در مجموع ٩٠/٧٨ درصد مساحت زمین‌های تحت کشت را دارا بوده و سهم تولید این استان‌ها ٩٠/٨١ درصد کل عملکرد محصول شلتوک کشور است. بعضی اطلاعات لازم در مورد استان‌های یاد شده در جدول زیر ارایه شده است.

جدول (٦)- برخی اطلاعات پایه‌ای در مورد استان‌های انتخابی که زراعت برنج در آنها متداول است [میانگین عملکردهای منطقه‌ای (استانی) می‌باشد.]

ردیف	نام استان (منطقه)	مساحت زیرکشت زراعت برنج (هکتار)	درصد از مساحت کل زمین‌های برنج کاری کشور	رده‌های خاک و زمین‌های غالب مورد کشت زراعت برنج						میزان عملکرد شلتوک (تن در هکتار)	
				آنتی سولز	آریدی سولز	اینسپتی سولز	مولی سولز	الفی سولز	ورتی سولز	میانگین عملکرد منطقه	اختلاف از میانگین کل
١	مازندران	٢٠١٧٩٣	٣٢/١٣	•	–	•	•	•	•	٥/٠٤١	+٠/٧٧٢
٢	گیلان	١٩٩٠٥٧	٣١/٦٩	•	–	•	•	•	–	٣/٨٣٣	–٠/٤٣٦
٣	گلستان	٦٠٧٣١	٩/٦٧	•	•	•	•	•	•	٤/١٣٨	–٠/١٣١
٤	فارس	٥٥٥٣٨	٨/٨٤	•	•	–	–	–	–	٤/٦٣٣	+٠/٣٦٤
٥	خوزستان	٥٣٠٧٠	٨/٤٥	•	•	•	–	–	–	٣/٧٠٢	–٠/٥٦٧
جمع کل		٥٧٠١٨٩	٩٠/٨١	٦	٣	٤	٣	٣	٢	٤/٢٦٩	–

انحراف متوسط (انحراف از میانگین) = ٠/٤٥٤ واریانس = ٠/٣١٤٣

انحراف معیار (انحراف استاندارد) = ٠/٥٦٠٦ ضریب تغییرات (٪) = ١٣/١٣

1- Ombrothermic Diagram

بطوریکه از جدول استنباط می‌گردد شرایط آب و هوایی استان‌های انتخابی مورد زراعت برنج تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای داشته و رده‌های مختلف خاک و زمین‌ها نیز که بنحوی متأثر از شرایط اقلیمی، مواد مادری، شرایط فیزیوگرافی و ژئومرفولوژیکی، فعالیت‌های موجودات زنده و عامل زمان است. بخش عمده زمین‌های زراعت برنج را رده‌های خاک آنتی‌سولز و اینسیتی سولز در درجه نخست و پس از آن به ترتیب خاک‌های رده مولی سولز، الفی سولز و آریدی سولز و سرانجام خاک‌های رده ورتی‌سولز تشکیل می‌دهد. در کلیه استان‌های انتخابی عملیات زراعت برنج مبتنی بر آبیاری اصولی و یا تکمیلی است. بدین دلیل استمرار برنج کاری در استان‌های خشک و نیمه خشک کشور (از جمله فارس و خوزستان) در زمین‌های خشکه‌زاری نه تنها بدلیل کاربرد مقادیر قابل ملاحظه آب آبیاری، بلکه بدلیل اثر بر کیفیت منابع خاک و آب (زیرزمینی آبخوان‌های کم عمق با کیفیت نامطلوب) قابل تأمل و تعمق است.

بررسی آماره انحراف از میانگین عملکرد محصول بیانگر آنست که کران‌های کاهش یا افزایش میانگین عملکرد شلتوک در استان‌هایی که ۹۰/۸۱ درصد محصول را تولید می‌نماید در محدوده ٤/۲٦۹ ±۰/٤٥٤ تن در هکتار قرار دارد که نسبت به میانگین عملکرد کشورهای آسیایی جنوب شرقی (بخصوص هند، چین، ژاپن، فیلیپین و...) به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر است . این در شرایطی است که در بعضی از کشورهای آسیای جنوب شرقی بارندگی‌های موسمی در فصل تابستان بخش قابل ملاحظه‌ای از نیاز آبیاری زمین‌های شالیزار را بطور طبیعی تأمین می‌نماید. به هرحال با تغییر دو رویکرد: افزایش سطح زیرکشت و افزایش عملکرد محصول در واحد سطح، توجهات خاص در کشور باید متوجه تولید حداکثر بازاء واحد آب مصرفی گردد. دستیابی به این هدف مستلزم انجام اقدامات اصولی و زیربنایی، بهبود شرایط به‌زراعی، به‌نژادی و سرانجام اعمال مدیریت‌های زراعی دقیق و علمی است.

۷- نتیجه‌گیری

بطور کلی اعمال مدیریت‌های علمی و مطلوب زراعی در مورد زراعت برنج با اهمیت‌تر از ویژگی‌های مناسب شرایط اقلیمی و ویژگی‌های خاک و زمین‌ها است. کشت و کار زراعت برنج در انواع متنوعی از خاک‌ها متداول است. بطوریکه زراعت این گیاه در خاک‌های با بافت رسی و سنگین و حتی خاک‌های با بافت لومی- شنی می‌تواند بانجام رسد. خاک‌های نهشته‌های آبرفتی که دارای بافت سنگین می‌باشند، بطور معمول مناسب‌تر از خاک‌های با بافت سبک می‌باشند. به هرصورت خاک بایستی تناسب لازم برای اجرای عملیات " گلخرابی" و نگهداری سطح ایستابی در طی ادوار رشد رویشی و زهکشی سطحی را در دوره رسیدن و برداشت محصول داشته باشد.

خاک‌های با شرایط زهکشی درونی نامناسب تا نسبتاً خوب برای این زراعت بیشتر مناسب می‌باشند. نفوذپذیری مطلوب خاک لایه زیرین برای زراعت برنج در محدوده کمتر از ۰/٥ سانتیمتر در ساعت است. خاک‌های مورد کشت و کار زراعت برنج کمتر در مورد خطرات ناشی از فرایند فرسایش قرار دارند.

منابع مورد استفاده:

۱- پذیرا، ابراهیم و محمد حسن مسیح آبادی (۱۳۸٦): ویژگی‌های خاک‌های شالیزار و تولید محصول برنج، مجله علمی- پژوهشی علوم کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات- تهران، ویژه نامه شماره (۲) سال سیزدهم ص ۳۹۷- ٤۱٥.

۲- آمارنامه کشاورزی، جلد اول. محصولات زراعی و باغی، سال زراعی ۸٤- ۱۳۸۳ (۱۳۸٥): دفتر آمار و فناوری اطلاعات، معاونت برنامه‌ریزی و اقتصادی وزارت جهاد کشاورزی، نشر آموزش کشاورزی.

۳- پذیرا، ابراهیم و حمید سیادت (۱۳٥٦): مدیریت آب در شالیزارها، مؤسسه خاکشناسی و حاصلخیزی خاک، شماره ٥۲٤، وزارت کشاورزی و عمران روستایی.

4- Challenges and Opportunities in a Less Favorable Ecosystem (1993): Upland Rice, IRRI Infourmtion Series NO. 2 .

5- Challenges and Opportunities in a Less Favorable Ecosystem (1992): Rainfed Lowland Rice, IRRI Infourmtion Series No.1 .

6- De Datta, S.K. (1981): Principles and Practices of Rice Production. John Wiley & Sons, Inc.

7- Hoshikawa, K. (1989): The Growing Rice Plant, Noubunkyo, Tokyo.

8- Irrigation Methods (1988): Irrigation Water Management Training Manual, No. 5. FAO, Rome.

9- Kawaguchi, K. and K. Kyuma (1977): Paddy Soils in Tropical Asia, Their Material, Nature and Fertility. The University Press of Hawai.

10- Kyuma, K. (1980): Productivity of Lowland Soils. International Rice Research Institute (IRRI.(

11- Kyuma, K. and K. Kawaguchi (1966): Major Soils of Shoutheast Asia and The Classification of Soils under Rice Cultivation. Southeast Asian Stud. 4:290-312.

12- Moormann, F.R. and N. van Breemen (1978): Rice: Soil, Water, Land. International Rice Research Institute (IRRI.(

13- Nakagawa, Sh. Nakagawa, M. Matsumoto, A. Chiba, T. Iwamoto, S. Iwasaki, K. and Y. Matoba (1983): Advanced Rice Cultivation, Irrigation and Drainage Technology in Japan. Fuji Marketing Research Co. Ltd.

14- Rice Doctor @ 2003. International Rice Research Institute (IRRI)

15- Soil Survey Investigation for Irrigation (1979): FAO Soils Buletin, No. 42, FAO Rome.

16- Sparks, D.L. (1995): Environmental Soil Chemistry, Academic Press, London.

17- The Impact of Salt Water on Agricultural Land (2005): UN. FAO, Field Guide.

18- Yield Response to Water (1979): Irrigation and Drainage Paper. No. 33. FAO, Rome.

19- Yoshida, Sh. (1981): Fundamentals of Rice Crop Science. Theintern Rice Inst. Philippines.

20- Yukawa, K. and Y, Inove (1979): Irrigation Water Management, No. 12. UIATC. GICA.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری[1]

ابراهیم پذیرا[2]

۱ـ مقدمه

زهکشی[3] عبارت است از جمع‌آوری و تخلیه آب از سطح و یا نیمرخ خاک،در مواقع لزوم و نگهداشت آب در درون نیمرخ خاک به هنگامی که گیاه بتواند از آن بعنوان آب آبیاری استفاده کند. در صورتی که زمین به طور طبیعی زهکشی نداشته باشد، استفاده از روش‌های مصنوعی زهکشی الزامی است. در اراضی شالیزاری، زهکشی برای دفع آب مازادسطحی به منظور نگه داشتن ارتفاع تیغه آب در محدوده مجاز و فراهم کردن شرایط مناسب در خاک برای رشد و نمو گیاه است. اجرای عملیات زهکشی در اراضی شالیزاری به سه منظور زیر صورت می گیرد:

- تخلیه و دفع آب اضافی؛
- خشک کردن زمین و آماده کردن آن برای کشت دوم؛ و
- کنترل وضعیت حاصلخیزی خاک.

تخلیه و دفع آب اضافی و بهسازی خاک را می‌توان بوسیله زهکش‌های سطحی[4]، زیرزمینی[5] و یا تلفیقی از آنها انجام داد.

- زهکش‌های سطحی، مجموعه مجاری روبازی هستند که هرزآب‌های آبیاری و روان‌آب‌های ناشی از

۱- ارایه شده در پنجمین کارگاه زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران- تهران ۱۳۸۷.

۲- عضو گروه کار زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، عضو هیئت علمی و مدیر گروه واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران

3- Drainage.
4- Surface Drainage.
5- Subsurface Drainage.

رگبارها را در شبکه آبیاری جمع‌آوری، هدایت و تخلیه می‌کنند. شبکه زهکشی سطحی جزئی از شبکه آبیاری محسوب می‌گردد.

- زهکش‌های زیرزمینی، زهکش‌هایی هستند که آب اضافی درون خاک را جمع‌آوری و به زهکش‌های جمع‌کننده[1] تخلیه می‌نمایند. این قبیل زهکش‌ها بطور معمول به صورت لوله‌های زیرزمینی طراحی می‌شوند.
- زهکش‌های جمع‌کننده، به منظور جمع‌آوری جریان‌های حاصل از زهکش‌های زیرزمینی و روان‌آب‌های سطحی ایجاد می‌گردند. بدین منظور می‌توان از کانال‌های روباز و یا لوله‌های زیرزمینی استفاده نمود. بدیهی است چنانچه حجم رواناب زیاد باشد، به ناچار باید از زهکش روباز استفاده کرد.

بطور کلی زهکش‌های مزرعه‌ای می‌تواند از انواع زیر باشد:

- زهکش‌های روباز یا نهرچه‌های باز زهکشی
- مجاری یا حفره‌های بدون پوشش زهکشی۲
- لوله‌های زهکشی زیرزمینی که امروزه بطور معمول از پلاستیک (پی وی سی و پلی اتیلن) ساخته می‌شوند.

۲- اجزای سامانه زهکشی سطحی داخل مزرعه

زهکشی سطحی تمهیدی برای تخلیه آب اضافی از روی سطح اراضی و هدایت آنها به مجاری روباز طبیعی و یا مصنوعی، هم چنین شکل دادن، شیب بندی یا تسطیح اراضی و هدایت زه‌آب‌های حاصله به خروجی نهایی[3] است.

- خروجی نهایی، به مکانی اطلاق می‌گردد که جریان آب‌های زهکشی به آن تخلیه و دفع می‌شود. خروجی نهایی می‌تواند مسیل، رودخانه، مرداب، دریاچه و... باشد.

در اراضی مسطح شالیزاری، مشکل اصلی، جلوگیری از افزایش بی حد ارتفاع تیغه آب است. در شالیزارهای تراس‌بندی شده، علاوه بر ارتفاع تیغه آب، آن چه که بیشتر مورد نظر است، تخلیه آب اضافی بدون ایجاد فرسایش خاک است.

بطور کلی، زهکش رو باز بایستی شرایط زیر را تأمین نماید:

- سرعت آب در آن موجب فرسایش و یا رسوب‌گذاری نگردد.
- ظرفیت مناسب را داشته باشد.
- از نظر شیب جانبی پایداری مطلوب را حفظ نماید.
- هزینه‌های احداث و نگهداری از آن در دوره بهره‌برداری حداقل باشد.

زهکش روباز بصورت قراردادی تحت عناوین اصلی[4]، فرعی[5]، جانبی (لترال[6]) و نهرچه‌های مزرعه‌ای[7] نامیده

1- Collector Drains.
2- Mole Drains.
3- Outlet.
4- Main Drain.
5- Sub Main Drain.
6- Lateral Drain.
7- Field Ditches.

می‌شوند.
کل سامانه زهکشی می‌تواند حسب مورد دارای پشته خاک‌ریز (سیل‌بند)، ایستگاه پمپاژ، نهرچه‌های باز زهکشی و لوله‌های زهکشی زیرزمینی باشد.

۳- مطالعات تکمیلی خاکشناسی و بررسی‌های زهکشی

۳-۱- مقدمه

وجود نقشه‌های خاک و طبقه‌بندی اراضی از پیش نیازهای مطالعات زهکشی محسوب می‌شوند. معمولاً به نقشه‌های خاک کمتر توجه شده و داده‌ها و نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی بیشتر مورد استناد قرار می‌گیرند. در نقشه‌های خاک اطلاعات مفید و قابل دستیابی فراوانی وجود دارد که در نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی ذکر نشده است که بویژه در مطالعات زهکشی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. وجود افق‌های مشخصه سطحی و زیرسطحی و نقش آنها در بعضی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، گاهی از نقشه‌های طبقه‌بندی اراضی قابل استخراج نمی‌باشند. مطالعات خاکشناسی با توجه به سطح و دقت انتخاب شده حاوی داده‌های متفاوتی می‌باشند. در فاز اجرائی قطعاً مطالعات باید بطور تفصیلی و یا دست کم مطالعات نیمه‌تفصیلی انجام شده باشد.

۳-۲- اطلاعات پایه‌ای مورد نیاز

الف- در اکثر شرایط، داشتن نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ با فاصله خطوط تراز ۰/۵ متر.
ب- شناخت مسایل زهکشی متأثر از ویژگی‌های توپوگرافی، لایه محدود کننده و نگهداری نامطلوب کانال‌های زهکشی.
پ- شناخت دقیق مقدار و شدت بارندگی برای دوره های زمانی و با دوره های بازگشت مختلف. برای امکان طراحی زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری، ارقام بارندگی حداقل ده ساله ضروری می‌باشد
ت - رابطه سامانه زهکشی با سایر پروژه‌ها از قبیل: پروژه‌های آبیاری، جاده‌سازی، احداث کارخانه‌ها و یا عملیات استخراج معادن و مانند آن.

در جدول (۱) حداقل اطلاعات مورد نیاز خاک شناسی و طبقه‌بندی اراضی شالیزاری در محدوده‌های مورد نظر ارائه شده است :

۴- مبانی طراحی سامانه زهکشی

تعیین محدوده‌هایی که نیاز به احداث سامانه زهکشی زیرزمینی دارند، ضروری است زیرا ممکن است بر عمق زهکش روباز موثر باشند. مشخص نمودن محل و رقوم خروجی‌هانیز از جمله اقدامات مهم و اولیه است. به عبارت دیگر:

- با بررسی نتایج حاصل از مطالعات می‌توان نوع سامانه زهکشی یعنی ثقلی و یا از طریق پمپاژ را مشخص نمود.

جدول (۱)- حداقل اطلاعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی شالیزاری در محدوده‌های مورد نظر

ردیف	شرح اطلاعات و موارد مورد نیاز	نوع مطالعات خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی		
		اجمالی	نیمه‌تفصیلی	تفصیلی
۱	کلاس‌های خاک قابل تشخیص	۱ تا ٦	۱ تا ٦	۱ تا ٦
۲	مقیاس نقشه پایه لازم	۱:۲۵۰۰۰	۱:۱۰۰۰۰	۱:۵۰۰۰
۳	حداقل فاصله بین نقاط مطالعاتی (متر)	۸۰۰	٤۰۰	۲۰۰
٤	درجه دقت مطالعات (٪)	۷۵	۹۰	۹۷
۵	امکان انجام مطالعات بوسیله هر خاکشناس حرفه‌ای در روز (هکتار)	۱۰۰۰-٦۰۰	٦۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۵۰
٦	حداقل اراضی کلاس شش قابل تفکیک در منطقه مورد مطالعه (هکتار)	۱	۰/۵	۰/۱
۷	حداقل محدوده، قابل تغییر به کلاس قابل کشت پایین تر (هکتار) *	۱۰	۵	۱
۸	حداقل محدوده، قابل تغییر به کلاس قابل کشت بالاتر (هکتار) *	۲۰	۱۰	۵
۹	تعداد نقاط مطالعاتی لازم برای حفاری به عمق ۱/۵ متری (در هر یکصد هکتار)	۲	۸	۱۰
۱۰	تعداد نقاط مطالعاتی لازم برای حفاری تا عمق حداکثر٦ متر (درهر هزار هکتار) **	۱	٤	۱۰
۱۱	تعداد پروفیل خاکشناسی و طبقه‌بندی اراضی برای هر کلاس در هر روش مطالعاتی، در صورت ضرورت انجام مطالعات تکمیلی (درهر هزار هکتار)	۵-۱	۱۰-۵	۲۰-۵

* در محیط GIS کاربرد مستقیم ندارد.

** در شرایطی که احداث سازه‌های آبی مطرح نباشد، عمق حفاری به ۳/۰متر تغییر می‌یابد.

- **خسارت ناشی از شرایط آب ماندگی برحسب نوع گیاه، عمق تیغه آب، طول مدت آب ماندگی، مرحله رشد و نمو گیاه و امثال آن می‌تواند متفاوت باشد. بهرحال حداکثر عمق تیغه آب در اراضی شالیزاری می‌تواند ۳۰ سانتیمتر و گسترش این قبیل اراضی در کل محدوده پروژه فقط کمتر از ۱۰٪ باشد.**
- **تغییر شرایط زراعی و اکولوژیکی پس از احداث سامانه زهکشی نیز باید مورد توجه باشد.**

۴-۱- انتخاب روش زهکشی

بدیهی است که سطح آب در محدوده زهکشی اراضی شالیزاری، بالاتراز مجاری آب بر طبیعی و یا رودخانه‌ها می‌باشد. ترجیح داده می شود که زه‌آب‌ها بطریق ثقلی به مجاری خروجی تخلیه شوند. چنانچه ظرفیت مجاری زهکشی کافی نباشد، توسعه و بهبود وضعیت کانال‌های زهکشی موجود، و یا احداث

کانال‌های جدید ضروری خواهد بود. در بعضی سامانه‌های زهکشی کمبود ظرفیت جریان خروجی در سازه‌های تخلیه و دفع (خروجی) ممکن است وجود داشته باشد. در دوره حداکثر ریزش باران خطر طغیانی شدن جریان در آبراهه‌ها، وجود دارد. در این شرایط، سیل بند و یا تغییر مکان سازه خروجی نیز می‌تواند مؤثر باشد.

۴-۱-۱- طراحی سامانه زهکشی روباز

- **ارتفاع مجاز تیغه آب روی سطح مزرعه**

در شرایط متعارف طراحی سامانه‌های زهکشی، در نظر گرفتن مقادیر ارتفاع مجاز تیغه آب برروی سطح مزرعه ضروری است. ارتفاع مجاز این تیغه با دوره رشد و نمو برنج متغیر می‌باشد. بعنوان مثال، ارتفاع بیش از حد مجاز این تیغه، در صورتی که در دوره خوشه بستن بوقوع بپیوندد و زمان آن بیش از دو روز بطول بینجامد، خسارت ناشی از آن بسیار جدی می‌باشد. در جدول (۲) رابطه بین کاهش عملکرد محصول و شرایط آب گرفتگی اراضی شالیزاری نشان داده شده است. در مناطقی که بارندگی‌های شدید در اوایل فصل تابستان که طول بوته‌های برنج به حدود ۰/۸-۰/٤ متر می‌رسد بوقوع بپیوندد، حداکثر عمق مجاز تیغه آب در حد ۰/۳ متر به مدت فقط ۲-۱ روز است.

- **بارندگی طرح**

بطور معمول بارندگی‌های شدید با دوره بازگشت ۱۰-۵ ساله مورد توجه قرار می‌گیرند*. در شرایطی که کنترل سیلاب در سطوح وسیع مورد نظر باشد، بارندگی روزانه و در شرائط بحرانی بطور ساعتی مورد استفاده واقع می‌شود.

بطور کلی در اکثر مواقع فقط ارقام بارندگی روزانه (۲٤ ساعته) قابل دسترسی است، لیکن طول دوره بحرانی بارندگی می‌تواند ۱۲-٦ ساعت باشد. امکان برآورد مقادیر بارندگی برای این دوره زمانی کوتاه، با استفاده از ضرایب ارایه شده زیر مقدور است.

* برای پروژه‌های وسیع بهتر است دوره بازگشت ۳۰-۱۰ ساله در نظر گرفته شود.

جدول (۲)- آب گرفتگی اراضی شالیزاری و کاهش عملکرد محصول

(ارقام متن جدول برحسب درصد)

ردیف	مرحله رشد برنج	نوع استغراق	مدت آب ماندگی (روز)			
			۱-۲	۳-٤	۵-۷	>۷
۱	۲۰ روز پس از نشاء تا تشکیل خوشه‌های جوان	استغراق کامل بوسیله آب صاف (زلال)	۱۰	۲۰	۳۰	۳۵
۲	تشکیل خوشه‌های جوان*	بخشی از گیاه در حالت استغراق بوسیله آب صاف **	۱۰	۳۰	٦۵	۹۰-۱۰۰
		بخشی از گیاه در حالت استغراق بوسیله آب گل‌آلود **	۲۰	۵۰	۸۵	۹۰-۱۰۰
		بطور کامل در حالت استغراق بوسیله آب صاف	۲۵	٤۵	۸۰	۸۰-۱۰۰
		بطور کامل در حالت استغراق بوسیله آب گل‌آلود	۷۰	۸۰	۸۵	۹۰-۱۰۰
۳	مرحله خوشه بستن	استغراق کامل بوسیله آب گل‌آلود	۳۰	۸۰	۹۰	۹۰-۱۰۰
		استغراق کامل بوسیله آب صاف (زلال)	۱۵	۲۵	۳۰	۷۰
٤	مرحله رسیدن دانه‌ها	استغراق کامل بوسیله آب گل‌آلود	۵	۲۰	۳۰	۳۰
		استغراق کامل بوسیله آب صاف (زلال)	۰	۱۵	۲۰	۲۰

* فقط ۵۰٪ کاهش عملکرد محصول ارایه شده در جدول مشروط به طول دوره استغراق به مدت ۰/۵ روز می‌باشد.

** بخشی از گیاه به معنی این است که برگ‌های با طول ۱۵-۹ سانتیمتر بالای سطح آب قرار می‌گیرند.

$$\left.\begin{aligned} P_{۶} / P_{۲۴} &= ۰/۵۰ - ۰/۷۰ \\ P_{۱۲} / P_{۲۴} &= ۰/۶۰ - ۰/۸۰ \end{aligned}\right\} \qquad (۱)$$

که در آن:

$P_{۶}$، مقدار بارندگی برآورد شده شش ساعته (میلیمتر)

$P_{۱۲}$، مقدار بارندگی برآورد شده دوازده ساعته (میلیمتر)

$P_{۲۴}$، مقدار بارندگی روزانه مشاهده شده (میلیمتر)

توزیع مقادیر بارندگی تجمعی شش ساعته را نیز می‌توان با کاربرد ضرایب ارایه شده در جدول زیر محاسبه نمود.**

** سازمان بین المللی هواشناسی (۱۹۷۴).

جدول (۳)- الگوی توزیع مقدار بارندگی تجمعی شش ساعته

زمان (ساعت)	۰/۰	۰/۵۰	۱/۰	۱/۵	۲/۰	۲/۵	۳/۰	۳/۵	٤/۰	٤/۵	۵/۰	۵/۵	٦/۰
درصد از بارندگی	۰	۲	۸	۱۵	۲۲	٦۰	۷۰	۷۸	۸٤	۸۸	۹۲	۹٦	۱۰۰

در شرایطی که فقط ارقام بارندگی با دوره بازگشت یکساله قابل دسترسی باشد، برآورد مقادیر بارندگی برای دوره‌های بازگشت پنج ($Tr_{۵}$) و ده ($Tr_{۱۰}$) ساله را با کاربرد ضرایب ارایه شده زیر می‌توان انجام داد.

$$\left.\begin{array}{l} P_{Tr۵}/P_{Tr۱} = ۱/۵ - ۲/۰ \\ P_{Tr۱۰}/P_{Tr۱} = ۱/۷ - ۲/۵ \end{array}\right\} \qquad (۲)$$

در روابط گفته شده:

$P_{Tr۱}$، میزان بارندگی با دوره بازگشت یکساله (میلیمتر)

$P_{Tr۵}$، مقدار بارندگی با دوره بازگشت پنج ساله (میلیمتر)

$P_{Tr۱۰}$، مقدار بارندگی با دوره بازگشت ده ساله (میلیمتر)

- **رواناب و ضریب رواناب سطحی**

اصول مفهوم رواناب سطحی مبتنی بر رابطه "بیلان آب" می‌باشد. بارندگی مازاد که بایستی بصورت مقدماتی طی یک دوره زمانی معین تخلیه گردد، از طریق کاربرد رابطه بیلان آب سطحی قابل برآورد است.

$$S_r = P - E - Inf \qquad (۳)$$

که در آن:

E، تبخیر مستقیم (میلیمتر)

Inf، نفوذ به درون نیمرخ خاک (میلیمتر)

P، بارندگی کل (میلیمتر)

S_r، میزان آب مازاد باقیمانده برروی سطح خاک که به صورت رواناب در می‌آید (میلیمتر)

آب مازاد سطحی در اراضی شیب‌دار بطور معمول بصورت غیر کنترل شده جریان می‌یابد، لیکن در اراضی مسطح شالیزاری، در اکثر حالت‌ها رواناب از طریق سیستم زهکشی سطحی (D_S) جمع‌آوری و تخلیه می‌گردد. بخشی دیگر از آب نفوذ کرده، آب زیرزمینی را تغذیه می‌نماید (R). تبخیر (E) طی مدت زمانی بارندگی و تولید رواناب در مقایسه با سایر مؤلفه‌های بیلان آبی ناچیز است و می‌توان از آن صرف نظر نمود. بدین ترتیب سایر اجزاء مندرج در معادله (۳) را می‌توان بصورت زیر ارایه داد:

$$\left.\begin{array}{l} S_r \rightarrow D_s \\ Inf = (D_i + \Delta W + R) \\ R \rightarrow D_r \end{array}\right\} \qquad (٤)$$

بارندگی مورد انتظار با تناوب وقوع معین (Tr) برای یک دوره بحرانی را می‌توان از ارقام هواشناسی برآورد نمود.

از دیدگاه زهکشی سطحی دو نوع ضریب رواناب سطحی وجود دارد که عبارتند از:

- نسبت بارندگی به روان آب مربوطه؛ و
- نسبت بارندگی حداکثر به حداکثر میزان سیلاب.

مورد نخست بطور معمول برای محدوده‌های وسیع در اراضی پست کاربرد دارد؛ در حالیکه مورد دوم برای برآورد سیلاب حداکثر که بوسیله بارندگی‌های شدید در دوره‌های زمانی کوتاه‌مدت بوقوع می‌پیوندد، مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۱-۲- برآورد دبی تخلیه در اراضی شیب‌دار

در اراضی شیب‌دار، سیستم‌های زهکشی سطحی بایستی مقدار روان آب حداکثر را با احتمال وقوع مشخص تخلیه نمایند. چنین مقادیری به طور معمول از طریق زهکش‌های طبیعی حوضه آبخیز دفع می‌گردد وممکن است که تنها در برخی مواقع، افزایش تراکم زهکش‌ها ضرورت یابد.

روشی که در زیر ارائه می‌شود مرتبط است با حوضه‌های زهکشی کشاورزی با مساحت کم، دارای بارندگی‌هائی شدید که در مدت کوتاهی اتفاق می‌افتد. در این حوضه‌ها اثرات جریان‌های آبراهه‌ای و یا ذخیره آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته نمی‌شود.

- **روش استدلالی یا منطقی[1]**

این روش از لحاظ نظری ممکن است فقط در شرایط ویژه‌ای که برای آن بنیان شده است، کاربرد داشته باشند. هر چند این روش دارای مبانی نظری نیست، لیکن می‌توان آن را به عنوان ابزاری برای برآورد رواناب‌های حداکثر در حوضه‌های کشاورزی کوچک که معمولاً در مورد آنها ارقام هیدرولوژیکی کافی وجود ندارد، بکار برد.

حداکثر میزان رواناب[2] زمانی حاصل می‌شود که دوره بارندگی معادل با زمان تمرکز در حوضه آبخیز باشد. این مفهوم را از نظر ریاضی می‌توان به شرح زیر و به عنوان رابطه استدلالی یا منطقی ارائه نمود:

$$Q_p = ۰/۰۰۲۸\ C.I.A \qquad (۵)$$

که در آن :

Q_p ، حداکثر میزان رواناب (مترمکعب در ثانیه)

C ، ضریب رواناب (بدون بعد، مثبت و کوچکتر از واحد)

I ، شدت بارندگی در زمان تمرکز (میلیمتر در ساعت)

A ، مساحت اراضی حوضه آبخیز (هکتار)

1- Rational Method.
2- Peak Runoff Rate.

زمان تمرکز طبق تعریف به دوره زمانی بین شروع بارندگی و لحظه‌ای گفته می‌شود که کلیه محدوده مورد نظر در بالادست نقطه خروجی رواناب تولید می‌نماید. طبق تعاریف بیان شده رابطه تجربی زیر ارائه شده است[1].

$$T_c = ۰/۰۱۹۵ (K)^{۰/۷۷} = ۰/۰۱۹۵ \ L^{۰/۷۷} . S^{-۰/۳۸۵} \qquad (۶)$$

که در آن :

$K = \frac{L}{\sqrt{S}}$ و $S = \frac{H}{L}$ (شیب برحسب متر بر متر)

T_c ، زمان تمرکز برحسب (دقیقه)

L، حداکثر طول آبراهه در حوضه آبخیز (متر)

H، اختلاف ارتفاع بین دورترین نقطه تا محل خروجی (متر)

در جدول زیر، زمان تمرکز محاسبه شده برای مقادیر متفاوت حداکثر طول و شیب‌های مختلف حوضه‌های آبخیز کوچک ارایه شده است.

جدول (٤)- مقادیر متفاوت زمان تمرکز **(T_C)** برای حوضه‌های آبخیز کوچک

ردیف	حداکثر طول آبراهه (متر)	شیب اراضی حوضه آبخیز					
		۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰	۰/۰۵۰
		زمان تمرکز (T_c) برحسب دقیقه					
۱	۱۵۰	۱۷	۱۳	۷	٦	٤	۳
۲	۳۰۰	۲۹	۲۳	۱۲	۹	۷	٥
۳	٦۰۰	٥۰	۳۸	۲۱	۱٦	۱۲	۹
٤	۱۲۰۰	۸٥	٦٥	۳٥	۲۷	۲۱	۱٥
٥	۱۸۰۰	۱۱۷	۸۹	٤۸	۳۷	۲۸	۲۰
٦	۲٤۰۰	۱٤٦	۱۱۲	٦۰	٤٦	۳٥	۲٥
۷	۳۰۰۰	۱۷۳	۱۳۳	۷۱	٥٥	٤۲	۲۹
۸	٦۰۰۰	۲۹٥	۲۲٦	۱۲۲	۹۳	۷۱	٥۰

* محاسبه شده از معادله (۶)

کلیه عواملی که برروانواب سطحی موثر هستند به جز موارد مرتبط با مساحت اراضی حوضه آبخیز (A) و شدت بارندگی (I) در مقدار ضریب رواناب (C) در نظر گرفته می‌شوند. ضریب رواناب سطحی به

1- Kirpich (1940).

ویژگی‌های هندسی، پوشش گیاهی، وضعیت خاک، میزان رطوبت اولیه خاک، شدت نفوذ اراضی حوضه و سرانجام میزان بارندگی حوضه آبخیز وابسته است.

ضریب رواناب با شدت بارندگی رابطه مستقیمی دارد و تابعی از میزان نفوذ سطحی در حوضه آبخیز است. رابطه بین ضریب رواناب (C) و شدت بارندگی (I) غیرخطی می‌باشد. در جدول زیر، رابطه ضریب رواناب (C) با شدت بارندگی را برای خاکهای با نفوذپذیری نسبتاً زیاد (متوسط) نشان می‌دهد.

جدول (٥)-رابطه ضریب اصلاحی رواناب (C) با شدت بارندگی برای حوضه‌های آبخیز (خاک‌های گروه B)

ردیف	نوع گیاه و شرایط هیدرولوژیکی (وضعیت حوضه آبخیز)	ضرایب رواناب برای شدت‌های متفاوت بارندگی		
		٢٥ (میلیمتردرساعت)	١٠٠ (میلیمتردرساعت)	٢٠٠ (میلیمتردرساعت)
١	زراعت ردیفی- عملیات زراعی ضعیف	٠/٦٣	٠/٦٥	٠/٦٦
٢	زراعت ردیفی- عملیات زراعی خوب	٠/٤٧	٠/٥٦	٠/٦٢
٣	گیاهان متراکم- عملیات زراعی ضعیف	٠/٣٨	٠/٣٨	٠/٣٨
٤	گیاهان متراکم- عملیات زراعی خوب	٠/١٨	٠/٢١	٠/٢٢
٥	چمن‌زار در تناوب زراعی- وضعیت خوب	٠/٢٩	٠/٣٦	٠/٣٨
٦	مراتع دایمی- وضعیت خوب	٠/٠٢	٠/١٧	٠/٢٣
٧	باغ و درختان- وضعیت خوب	٠/٠٢	٠/١٠	٠/١٥
٨	شالیزار	١-/٩٨	١-/٩٨	١-/٩٨

* ضریب اصلاحی رواناب (C) جهت کاربرد در معادله منطقی یا استدلالی موضوع معادله (۶)

تذکر: گروه هیدرولوژیکی خاک‌های (B)، دارای توانمندی تولید رواناب متوسط، وضعیت نفوذپذیری متوسط، خاک‌های با بافت نسبتاً ریز تا نسبتاً درشت و عمق متوسط، وضعیت زهکشی طبیعی متوسط تا خوب و دارای سرعت نفوذ نهایی ٤-٨ میلیمتر در ساعت می‌باشند.

برای طراحی سیستم‌های زهکشی سطحی، معمولاً مقادیری بکار گرفته می‌شود که مرتبط با خاک‌های اشباع و در زمانی است که بارندگی آغاز می‌شود و این بدان معنی می‌باشد که بایستی نوعی عامل شناخته نشده را به عنوان "ضریب اطمینان" معرفی نمود تا نقیصه عدم بارش همیشگی را بر روی خاک‌های اشباع تعدیل نمود. بدیهی است که در مورد برنج این فرض کاملاً به واقعیت نزدیک است. مقادیر ضرایب رواناب (C) که به طور گسترده‌ای بکار می‌رود در جدول زیر ارائه شده است.

جدول (٦) مقادیر ضریب رواناب (C) برای کاربرد در معادله استدلالی یا منطقی

ردیف	کاربری اراضی	شیب اراضی (٪)	قابلیت نفوذ خاک‌ها		
			زیاد *	متوسط *	کم *
۱	جنگل	۵ – ۰	۰/ ۱۰	۰/ ۳۰	۰/ ٤۰
۲		۱۰ – ۵	۰/ ۲۵	۰/ ۳۵	۰/ ۵۰
۳		۳۰ – ۱۰	۰/ ۳۰	۰/ ۵۰	۰/ ٦۰
٤	مرتع	۵ – ۰	۰/ ۱۰	۰/ ۳۰	۰/ ٤۰
۵		۱۰ – ۵	۰/ ۱۵	۰/ ۳۵	۰/ ۵۵
٦		۳۰ – ۱۰	۰/ ۲۰	۰/ ٤۰	۰/ ٦۰
۷	اراضی قابل کشت	۵ – ۰			
۸		۱۰ – ۵	۰/ ۳۰	۰/ ۵۰	۰/ ۵۰
۹		۳۰ – ۱۰	۰/ ٤۰	۰/ ٦۰	۰/ ۷۰
			۰/ ۵۰	۰/ ۷۰	۰/ ۸۰
۱۰	شالیزار	بدون شیب	حدود۱/۰	حدود۱/۰	حدود۱/۰

قابلیت نفوذپذیری خاک‌ها (زیاد، متوسط و کم) به ترتیب مترادف با بافت خاک‌های: لومی شنی، رسی- لومی سیلتی و رسی فشرده می‌باشد.

حوضه‌های آبخیز بزرگ به ندرت همگن می‌باشند. از این رو بهتر آنست که کل محدوده حوضه مورد نظر را به چند قسمت همگن تفکیک نموده و سپس با عنایت بر عوامل متغیر (تیپ خاک‌ها، درصد شیب اراضی و نوع کاربری آنها) برای هر زیر بخش مقدار ضریب رواناب مربوطه (C) را تعیین نموده و نسبت به محاسبه "میانگین وزنی" برای کل اراضی محدوده مورد نظر اقدام نمود. در مورد شالیزارهای مناطق پست نیازی به این کار نیست زیراکه در تمامی قسمت های شالیزار ضریب رواناب در حدود ۱/۰ است.

در جداول زیر ضرایب روان آب (C) برای بعضی حوضه‌های آبخیز رودخانه‌ای و روان‌آب سطحی در مزارع شالیزاری برای کاربرد در رابطه "استدلالی یا منطقی" ارایه شده است.

جدول (۷)- ضرایب رواناب سطحی در شرائط مختلف

ردیف	ویژگی‌های توپوگرافی حوضه	ضریب رواناب سطحی (C)
یک	کوهستانی با شیب تند	۰/۷۵-۰/۹۰
دو	مناطق جنگلی	۰/۵۰-۰/۷۵
سه	اراضی پست (غیرمرتفع) و مسطح	۰/٤۵-۰/٦۰
چهار	شالیزارهای مورد کشت و آبیاری	۰/۷۰-۰/۸۰
پنج	رودخانه‌های کوچک در دشت	۰/٤۵-۰/۷۰
شش	شالیزارهای کوچک	۰/۹۰تا۱/۰

جدول (۸)- ضرایب رواناب سطحی در مزارع شالیزاری نسبتاً بزرگ که به آن می توان شبکه زهکشی نامید

ردیف	مساحت مزارع شالیزاری (هکتار)	تعداد ساعات بارندگی	طول مدت تخلیه پس ازخاتمه بارش - ساعت (T)	ضریب رواناب سطحی(C)
۱	۵۰ ≈ تراس بندی شده	٤	٤	۰/٤-۰/۷
۲	<۱۰۰	۲٤	۲٤	۰/۵-۰/۸
۳	<۵۰۰	۲٤	۲٤	۰/٤-۰/۷
٤	<۱۰۰۰	۲٤	٤۸	۰/٦-۰/۸

۴-۱-۳- دبی طراحی برای اراضی مسطح

اراضی مسطح که بطور معمول حوضه‌های آبخیز کوچک کشاورزی می‌باشند، متوسط شیب اراضی آنهانزدیک صفر ولزوما کمتر از ۱٪ باشد. در این شرایط مهم ترین سوال این نیست که مقدار حداکثر رواناب با دوره بازگشت مشخص چقدراست؛ بلکه سوال مهم این است که زمان لازم برای تخلیه آب سطحی اضافی چقدر است. این موضوع محاسبه دبی طراحی را برای اراضی مسطح بسیار پیچیده می‌نماید.

روشی که دراراضی مسطح در زیر مورد بحث قرار می‌گیرد، بر مبنای تجربه سالیان متمادی در کشور ایالات متحده امریکا می‌باشد که در پروژه‌های آبیاری و زهکشی کشور نیز مورد استفاده قرار گرفته است.

- **رابطه سیپرس- کریک**[1]

این رابطه کاملاً تجربی بوده و بر اساس اندازه گیری های فراوان بدست آمده است. شکل کلی ارائه شده برای محاسبه دبی طراحی بصورت رابطه زیر می‌باشد:

1- Cypress Creak Formula.

$$Q_P = C \cdot A^{\frac{5}{6}} = C.A^{0/833} \qquad (۹)$$

که در آن:

Q_P، اوج دبی طراحی (مترمکعب برثانیه)؛

C، ضریب جریان که به خصوصیات پوشش گیاهی، نوع خاک و ارتفاع بارندگی بستگی دارد؛ و

A ، مساحت اراضی محدوده مورد نظر (کیلومترمربع) می‌باشد.

این معادله شرایط هیدرولوژیکی و همچنین توجیهات اقتصادی را درنظر می‌گیرد. مقدار دبی طراحی Q_P نبایستی با میزان دبی حداکثر اشتباه شود. در شرایطی احتمال دارد که میزان دبی حداکثر از میزان دبی طراحی محاسبه شده زیادتر باشد.

در نقاط زیادی از کشور ایالات متحده امریکا، مقادیر ضریب جریان (C) که بایستی در معادله (۹) بکار رود، طی سالیان متمادی مشخص شده است. بعضی پژوهشگران رابطه‌ای را برای مرتبط نمودن مقدار ضریب جریان (C) با میزان بارندگی اضافی[1] R_e بشرح زیر ارایه نموده‌اند.

$$C = ۰/۲۱ + ۰/۰۰۷۵ \ . R_e \qquad (۱۰)$$

که در آن:

R_e، میزان بارندگی مازاد حاصل از یک رگبار که بایستی آن را از مقدار بارندگی ۲٤ ساعته بدست آورد (میلیمتر).

بارندگی مازاد را می‌توان از روش شماره منحنی[2] (CN) بدست آورد. روش محاسبه میزان بارندگی اضافی (مازاد)، بشرح زیر است:

$$S = (\frac{۱۰۰۰}{CN} - ۱۰) \times ۲۵/۴ = (\frac{۲۵۴۰۰}{CN} - ۲۵۴) \qquad (۱۱)$$

$$R_e = P_n = Q = \frac{(P - ۰/۲S)^۲}{(P + ۰/۸S)} \qquad P > ۰/۲S \qquad (۱۲)$$

که در آن :

$Q = P_n = R_e$، بارندگی مازاد حاصل از یک رگبار (میلیمتر)

P ، بارندگی با دوره بازگشت مشخص(میلیمتر)

CN ، شماره منحنی(عددی که دامنه آن ۱۰۰-۰۰ می‌باشد)

S ، پتانسیل نگهداشت حداکثر[3] (میلیمتر)

1-.Excess Rainfall.
2- Curve Number.
3- Potential Maximum Retention.

- **برآورد رواناب در اراضی پست شالیزاری**

عملیات آبیاری در شالیزارها نیز می تواند موجد رواناب سطحی گردد که در مقایسه با آنچه از طریق بارندگی حاصل می‌گردد، قابل توجه نمی‌باشد. بدین دلیل بطور معمول نیاز زهکشی سطحی اراضی شالیزاری برمبنای مقادیر بارندگی محاسبه می‌گردد.

انتخاب بارندگی طرح بر پایه تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی و خسارت های قابل پیش بینی بانجام می‌رسد. در اکثر حالت‌ها مقادیر بارندگی ۲ تا ۵ روزه با دوره بازگشت ۵ و یا در شرایطی ۱۰ ساله مبنای انتخاب بارندگی طرح قرار می‌گیرد. ضرایب زهکشی یا دبی‌های طراحی در اراضی شالیزاری بر پایه دو معیار توامان تعیین می‌گردد، که عبارتند از:

- مقدار متوسط بارندگی مازاد طی مدت ۳ روز دوره بارش در صورتی که بارندگی از ۲۰۰ میلیمتر تجاوز ننماید.
- هرگاه بارندگی مازاد بیش از ۱۰۰ میلیمتر باشد، تخلیه و دفع آن از سطح اراضی محدوده مورد نظر بیش از ۳ روز بطول نینجامد.

بنابراین مبنای محاسبات طراحی ضرایب زهکشی یا دبی‌های طراحی در اراضی شالیزاری بصورت زیر است:

بیلان آب در یک قطعه (کرت) برنج که اطراف آن محصور باشد را می‌توان بشرح زیر ارایه نمود.

$$D_n = a[P_n - n(q + ET)] \qquad (۱۳)$$

که در آن:

D_n،عمق آب اضافی در انتهای n روز بارندگی (میلیمتر)

P_n، مقدار باران تجمعی طرح برای دوره n روزه (میلیمتر)

ET ، تبخیر و تعرق گیاهی (میلیمتر در روز)

q ، دبی طرح یا ضریب زهکشی[1] (میلیمتر در روز)

a ، ضریب تمرکز که بیانگر تجمع عمق آب در انتهای قطعه (کرت)است.

تذکر: اگر طول کرت L منظور گردد، هرگاه آب به ترتیب در ۲۵ و ۵۰٪ انتهای قطعه که مترادف با $\frac{L}{۴}$ و $\frac{L}{۲}$ می‌باشد، تجمع یابد، مقادیر ضریب a به ترتیب برابر با ٤ و ۲ خواهد بود.

بعنوان مثال هر گاه مقادیر بارندگی‌های ۳ روزه مبنای انتخاب بارندگی طرح قرار گیرد، کاربرد رابطه بیلان آب برای روزهای متفاوت بشرح زیر خواهد بود.

برای روز اول ($n = 1$) $\quad D_۱ = a[P_۱ - (q + ET)]$

برای روز دوم ($n = 2$) $\quad D_۲ = a[P_۲ - ۲(q + ET)]$

برای روز سوم ($n = 3$) $\quad D_۳ = a[P_۳ - ۳(q + ET)]$

هرگاه معیار نخست مورد نظرباشد ، روابط زیر را می‌توان ارایه نمود.

---

1 -Drainage Coefficient. جریانی که از واحد سطح در واحد زمان تخلیه می گردد.

$$[(D_1 + D_2)/2] = \frac{1}{2}a\,(P_1 + P_2 - 3q - 3ET) \qquad (14)$$

هرگاه نتیجه تساوی بالا از ۲۰۰ میلیمتر کمتر باشد آنگاه رابطه زیر را می‌توان ارایه داد.

$$q = \frac{1}{3}P_1 + \frac{1}{3}P_2 - [(400/3a)] - ET \qquad (15)$$

حال، معیار دوم مورد بررسی قرار می‌گیرد که در نتیجه آن:

$D_3 = a[P_3 - 3(q + ET)] = 100$ میلیمتر

$$q = \frac{1}{3}P_3 - ET - 100(3a) \qquad (16)$$

با مقایسه دبی‌های طرح حاصل شده از کاربرد روابط (۱۵) و (۱۶) هرکدام زیادتر باشد، انتخاب و اعمال خواهد شد.

برای برآورد رواناب در مناطقی که مزارع شالیزاری آن در اراضی پست قرار دارند می‌توان از مندرجات جداول زیر نیز بهره‌مند گردید.

جدول (۹)- مقدار بارندگی کل و میزان رواناب سطحی ناشی از آن

مقدار بارندگی کل (میلیمتر)	۰-۱۰	۱۰-۳۰	۳۰-۵۰	۵۰-۱۰۰	۱۰۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	>۳۰۰
ضریب رواناب سطحی	-	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۵۰	۰/۸۰	۰/۹۰	۰/۹۵

جدول (۱۰)- مقادیر بارندگی‌های منفرد و الگوهای رواناب سطحی حاصله در کرت‌های شالیزاری (ارقام متن جدول برحسب درصد)

ردیف	روزهای بارندگی / مقدار بارندگی (میلیمتر)	روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	جمع کل
۱	< ۳۰	۱۰۰	-	-	-	۱۰۰
۲	۳۰-۵۰	۷۰	۳۰	-	-	۱۰۰
۳	۵۰-۱۰۰	۶۰	۳۰	۱۰	-	۱۰۰
٤	>۱۰۰	۵۰	۳۰	۱۵	۵	۱۰۰

مثال‌های عملی درخصوص کاربرد جداول (۹) و (۱۰) با فرض اینکه مقدار کل بارندگی در یک دوره پنج روزه به ترتیب برابر با ۱۰۰، ۲۰۰ . ۳۰۰ میلیمتر باشد در جداول (۱۱) ، (۱۲) و (۱۳) ارایه گردیده است.

بطوریکه از جداول قابل استنباط می‌باشد نسبت رواناب سطحی به بارندگی در یک دوره ۵ روزه به ترتیب برابر با ۰/٤٦، ۰/٦۳ و ۰/۷۷ می‌باشد و این بدان معنی است که با افزایش میزان بارندگی، مقدار رواناب سطحی نیز افزایش قابل ملاحظه‌ای حاصل می‌نماید.

جدول (۱۱)- مثالی از چگونگی محاسبه میزان رواناب سطحی روزانه حاصل از یک دوره بارندگی ۱۰۰ میلیمتری

روزهای بارندگی [۱]	میزان بارندگی (میلیمتر) [۲]	میزان بارندگی تجمعی (میلیمتر) [۳]	ضریب رواناب سطحی [۴]	رواناب حاصل از بارندگی منفرد (بارندگی روزانه- میلیمتر) [۵]	رواناب‌های روزانه (میلیمتر) [۶]						میزان روان آب‌های روزانه تجمعی (میلیمتر)
					روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	
اول	۲۵	۲۵	۰/۱۰	۲/۵	۲/۵	–	–	–	–	–	۲/۵
دوم	۳۰	۵۵	۰/۵۰	۱۵/۰	–	۱۰/۵	٤/۵	–	–	–	۱۷/۵
سوم	۱۵	۷۰	۰/۵۰	۷/۵	–	–	۷/۵	–	–	–	۲۵/۰
چهارم	۱۰	۸۰	۰/۵۰	۵/۰	–	–	–	۵/۰	–	–	۳۰/۰
پنجم	۲۰	۱۰۰	۰/۸۰	۱٦/۰	–	–	–	–	۱٦/۰	–	٤٦/۰
جمع کل	۱۰۰	–	–	٤٦/۰	۲/۵	۱۰/۵	۱۲/۰	۵/۰	۱٦/۰	–	–

تذکر: ستون [۴] از جدول (۹) برمبنای ارقام ستون [۳] بدست آمده است.
ستون [۵] = [۲] × [۴]
ستون [۶] = [۵] × الگوی بارندگی (٪) ارایه شده در جدول (۱۰)

جدول (۱۲)- مثالی از چگونگی محاسبه میزان رواناب سطحی روزانه حاصل از یک دوره بارندگی ۲۰۰ میلیمتری

روزهای بارندگی [۱]	میزان بارندگی (میلیمتر) [۲]	میزان بارندگی تجمعی (میلیمتر) [۳]	ضریب رواناب سطحی [۴]	رواناب حاصل از بارندگی منفرد (بارندگی روزانه- میلیمتر) [۵]	رواناب‌های روزانه (میلیمتر) [۶]						میزان روان آب‌های روزانه تجمعی (میلیمتر)
					روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	
اول	۴۰	۴۰	۰/۳۰	۱۲/۰	۸/۴	۳/۶	–	–	–	–	۱۲/۰
دوم	۵۰	۹۰	۰/۵۰	۲۵/۰	–	۱۵/۰	۷/۵	۲/۵	–	–	۳۷/۰
سوم	۱۵	۱۰۵	۰/۸۰	۱۲/۰	–	–	۱۲/۰	–	–	–	۴۹/۰
چهارم	۷۰	۱۷۵	۰/۸۰	۵۶/۰	–	–	–	۳۳/۶	۱۶/۸	۵/۶	۱۰۵/۰
پنجم	۲۵	۲۰۰	۰/۹۰	۲۲/۵	–	–	–	–	۲۲/۵	–	۱۲۷/۵
جمع کل	۲۰۰	–	–	۱۲۷/۵	۸/۴	۱۸/۶	۱۹/۵	۳۶/۱	۳۹/۳	۵/۶	–

* به زیرنویس جدول (۱۱) مراجعه شود

جدول (۱۳)- مثالی از چگونگی محاسبه میزان رواناب سطحی روزانه حاصل از یک دوره بارندگی ۳۰۰ میلیمتری

روزهای بارندگی [۱]	میزان بارندگی (میلیمتر) [۲]	میزان بارندگی تجمعی (میلیمتر) [۳]	ضریب رواناب سطحی [٤]	رواناب حاصل از بارندگی منفرد (بارندگی روزانه- میلیمتر) [٥]	رواناب‌های روزانه (میلیمتر) [٦]						میزان رواناب آب‌های روزانه تجمعی (میلیمتر)
					روز اول	روز دوم	روز سوم	روز چهارم	روز پنجم	روز ششم	
اول	٤٠	٤٠	۰/۳۰	۱۲/۰	۸/٤	۳/٦	–	–	–	–	۱۲/۰
دوم	۱٥۰	۱۹۰	۰/۸۰	۱۲۰/۰	–	٦۰/۰	۳٦/۰	۱۸/۰	٦/۰	–	۱۳۲/۰
سوم	۱٥	۲۰٥	۰/۹۰	۱۳/٥	–	–	۱۳/٥	–	–	–	۱٤٥/٥
چهارم	۷۰	۲۷٥	۰/۹۰	٦۳/۰	–	–	–	۳۷/۸	۱۸/۹	٦/۳	۲۰۸/٥
پنجم	۲٥	۳۰۰	۰/۹٥	۲۳/۸	–	–	–	–	۲۳/۸	–	۲۳۲/۳
جمع کل	۳۰۰	–	–	۲۳۲/۳	۸/٤	٦۳/٦	٤۹/٥	٥٥/۸	٤۸/۷	٦/۳	–

* به زیرنویس جدول (۱۱) مراجعه شود

۴-۲- مبانی هیدرولیکی طراحی سامانه زهکشی باز

- تأسیسات زهکشی بایستی قادر به تخلیه آب اضافی در فرایند جریان‌های سیلابی یا بارندگی‌های رگباری باشند لیکن در هر حال نگهداشت (باقی ماندن) مقادیری آب بصورت استغراقی بروی سطح اراضی شالیزاری (مزارع مورد زراعت برنج) نیز بلامانع می‌باشد.
- انتخاب دومین رقم بارندگی روزانه حداکثر که طی ده سال گذشته ثبت گردیده بعنوان رقم مبنای طراحی بدین معنی است که احتمال وقوع این میزان بارندگی هر پنج سال یکبار امکان پذیر است. استغراق سطح اراضی شالیزاری برای کوتاه مدت آنچنان خطرناک (مسئله‌ساز) نمی‌باشد و احتمال وقوع مجدد مقدار بارندگی بایستی برمبنای ملاحظات اقتصادی نیز باشد. در شرایطی که خسارت یا مشکل زهکشی علاوه بر اراضی شالیزاری (زراعی) موجبات بروز خسارت به سایر تأسیسات می‌گردد احتمال وقوع مجدد این شرایط نیز بایستی با دقت مورد نظر قرار گیرد.
- دبی یا میزان جریان زهکشی از طریق رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$Q = \frac{A.P.C}{T} \qquad (۱۷)$$

یا:

$$Q = \frac{۱۰}{۳۶۰۰} \times \frac{A.P.C}{T} = ۰/۰۰۲۸ \times \frac{A.P.C}{T} \qquad (۱۸)$$

که در آن:

Q ، حداکثر میزان دبی جریان (مترمکعب در ثانیه)

A ، مساحت محدوده زهکشی (هکتار)

P ، میزان بارندگی طرح (میلیمتر)

C ، ضریب رواناب (بدون بُعد، مثبت و کوچکتر از واحد)

T ، زمان یا مدت تخلیه مجاز طراحی (ساعت)

تذکر: ضریب رواناب (C) مرتبط با ویژگی‌های توپوگرافی، خصوصیات خاک، اراضی و شرایط بارندگی است. در اراضی غیر مرتفع (پست) در نخستین روز بارندگی فقط بخش کمی از میزان بارندگی بصورت رواناب خارج می‌گردد و مابقی آن در سطح اراضی شالیزاری ذخیره می‌شود و در اکثر مواقع مقادیر بارندگی پس از دومین روز بارش به مجاری خروجی زهکشی تخلیه می‌شوند، توصیه می‌گردد ضریب رواناب در فرایند روزهای با بارندگی مداوم (پیوسته) اندازه‌گیری و برآورد گردد.

توجه: دوره زمانی لازم برای تخلیه مقادیر آب مازاد (حاصل از بارندگی) می‌تواند بشرح زیر انتخاب گردد:

- برای اراضی با مساحت کمتر از ۵۰۰ هکتار، زمان لازم یک روز.
- برای اراضی با مساحت کمتر از ۱۰۰۰ هکتار، زمان لازم دو روز.
- برای اراضی با مساحت بیشتر از ۱۰۰۰ هکتار، زمان لازم سه روز.

۴-۳- طراحی کانال‌های باز زهکشی

سامانه زهکشی مشتمل بر زهکشی تکمیلی (کمکی)[1]، زهکش فرعی[2] و زهکش اصلی[3] است. زهکش کمکی (تکمیلی) با تراکم ۲۰ متر (طول) در هر هکتار احداث می‌گردد. هرچند در مسایل مهندسی طراحی انواع مختلف کانالهای باز می‌تواند مطرح باشد که بدین منظور از جداول، نمودارها و سایر روش‌های متداول برای سهولت محاسبات می‌توان استفاده نمود. لیکن کاربرد معادله مانینگ[4] برای محاسبه سرعت و میزان جریان (دبی) بطور معمول بیشتر کاربرد دارد.

$$Q = A.V \qquad (۱۹)$$

$$Q = A\frac{۱}{n} R^{۰/۶۶۷}.I^{۰/۵} \qquad (۲۰)$$

که در آن:

Q ، میزان جریان یا دبی طراحی (مترمکعب در ثانیه)

A ، سطح مقطع جریان (آبراهه) (مترمربع)

n ، ضریب زبری یا خشونت بستر کانال که برای مجاری آب بر طبیعی معادل ۰/۰۳۵ در نظر گرفته می‌شود (ثانیه بر متر به توان یک سوم).

R ، شعاع هیدرولیکی (نسبت سطح مقطع جریان به محیط یا پیرامون خیس شده آبراهه) (متر)

I ، شیب طراحی سطح آب (طولی) یا کف کانال (متر بر متر)

توجه: ارتفاع فضای آزاد[5] بطور معمول یک چهارم کل ارتفاع سطح مقطع (کانال زهکشی سطحی) انتخاب می‌شود.

جدول (١٤)- مقادیر متفاوت ضریب زبری جدار برای طراحی انواع پوشش کانال‌ها

ردیف	نوع پوشش کانال‌های	ضریب زبری (n)
١	پوشش بتونی با کیفیت مطلوب	٠/٠١٤
٢	سنگ فرش با ملات سیمان	٠/٠١٧
٣	آبراهه طبیعی با شرایط مناسب	٠/٠٢٥
٤	آبراهه طبیعی سنگی با پوشش گیاهی	٠/٠٣٥
٥	آبراهه طبیعی در وضعیت نامطلوب	٠/٠٦٥

1- Supplementary Drainage.
2- Lateral Drainage.
3- Main Drainage.
4- Manning Equation.
5- Free Board.

جدول (۱۵)- شیب‌های جانبی متداول در احداث کانال‌های بدون پوشش

ردیف	نوع خاک‌های مورد نظر	افقی به عمودی
۱	خاکبرداری در خاک‌های سخت (سنگین بافت)	۱:۱
۲	خاکبرداری یا خاکریزی در خاک‌های لومی	۱:۱/۲۵
۳	خاک‌برداری یا خاکریزی در خاک‌های ماسه‌ای (شنی)	۱:۲/۵

جدول (١٦)- حداکثر سرعت‌های مجاز در طراحی انواع کانال‌های باز با پوشش‌های متفاوت

ردیف	انواع کانال‌ها با پوشش‌های متفاوت	حداکثر سرعت مجاز (متردرثانیه)
۱	خاک‌های شنی	۰/٤٥
۲	خاک‌های شنی لومی	۰/٦۰
۳	خاک‌های لومی	۰/۷۰
٤	خاک‌های لومی سنگین	۰/۹۰
٥	خاک‌های رسی	۱/۰۰
٦	خاک‌های شنی رسی	۱/۲۰
۷	کانال‌های با پوشش بتونی نازک	۱/٥
۸	کانال‌های با پوشش بتونی ضخیم	۳/۰۰

۵- نتیجه‌گیری

- بطور معمول سامانه زهکشی از محل زهکشی تکمیلی (کمکی) آغاز و سپس به نهرچه‌های کوچک زهکشی متصل و به تدریج به زهکشهای جانبی، فرعی و کانالهای زهکشی اصلی مرتبط می‌گردد.
- سطح مقطع نهرچه زهکشی کمکی (جانبی)، که در برنامه‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری استفاده از آن متداول و معمول است، موجود می‌باشد، بنابر این نیازی به محاسبه ابعاد هندسی آن (سطح مقطع نهرچه) وجود ندارد.
- مقدار تراکم زهکشی کمکی یا تکمیلی می‌تواند از ۲۰-۵۰ متر در هکتار حسب مورد متغیر باشد.
- برای احداث کانال زهکشی، مخارج ساخت (احداث) رابطه نزدیکی با شیب طولی و سطح مقطع جریان دارد. بدین دلیل در این ارتباط بایستی مؤثرترین شیوه محاسبه و طراحی را انتخاب نمود. در چنین شرایطی بایستی حداکثر سرعت مجاز را طوری انتخاب نمود که موجب رسوب گرفتگی و رویش علف‌های هرز آب دوست در کانال نگردد. حداکثر ارتفاع (مجاز) سطح آب در کانال زهکشی

بایستی پایین‌تر از ارتفاع سطح خاک مزرعه در پست‌ترین بخش اراضی شالیزاری (از نظر ارتفاعی) باشد.

- دریچه‌های تنظیم کننده جریان و آبشارها فقط در شرایط کاملاً ضروری طراحی و اجرا می‌گردند.

منابع مورد استفاده:

۱- پیش نویس "راهنمای برآورد رواناب در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی" (۱۳۸۳): نشریه ۲۸۳-الف، دفتر استاندارد مهندسی آب، وزارت نیرو- تهران.

۲- پذیرا، ابراهیم و حمید سیادت (۱۳۵٦): مدیریت آب در شالیزارها، مؤسسه خاکشناسی و حاصلخیزی خاک، شماره ٥۲٤، وزارت کشاورزی و عمران روستایی.

۳- خلاصه مقالات اولین همایش علمی- کاربردی تجهیز، نوسازی و یکپارچه‌سازی اراضی شالیزاری کشور (۱۳۸۱): دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائمشهر- مازندران.

٤- علیزاده، امین (۱۳۸٤): زهکشی جدید، برنامه‌ریزی، طراحی و مدیریت سیستم‌های زهکشی (ترجمه و تدوین)، انتشارات آستان قدس رضوی (شرکت به نشر)- مشهد.

٥- مجموعه مقالات اولین کارگاه آموزشی مبانی طراحی در تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری (۱۳۸۳): دانشگاه گیلان- رشت.

6- Bruce, E.L (2000): Civil Engineering Hydraulics and Engineering Hydrology, Engineering Press U.S.A.

7- De Datta, S.K (1981): Principles and Practices of Rice Production. John Wiley & Sons, Inc.

8- Engineering Field Manual for Conservation Practices (1969): Soil Conservation Service, U.S. Dept of Agriculture Washington. D.C.

9- Nakagawa. S. et al (1983): Advanced Rice Cultivation, Irrigation and Drainage Technology in Japan. Fuji Marketing Research Co. Ltd.

10- Ritzema. H.R, Kselik, R, A.L and Fernando Chanduvi (1996): Drainage of Irrigated Lands, Training Manual No 9. FAO, Rome.

11- Schwab, G.O, Fangmeier, D.D et, al (1993): Soil and Water Conservation Engineering, 4th Ed, John Wiley & Sons, Inc.

12- Smedema, L.K, Vlotman, W.F and D,W. Rycroft (2004): Modern Land Drainage, Planning, Design and Management of Agricultural Systems, Leiden, The Netherlands, A.A. Balkema Publishers, Taylor and Francis.

13- van der Molen, W. H, Martinez Beltran, j and W.j. Ochs (2007): Guidelines and Computer Programs for the Planning and Design of Land Drainage Systems, Irrigation and Drainage Paper, No. 62, FAO, Rome.

14- Water Management (Drainage), Chapter 14 (2001): Part 650 Engineering Field Handbook, NEH, NRCS, U.S. Dept of Agriculture, U.S.A.

15- Yamazaki, F. (Translated by M. Mizutani, et. al.), (1988): Paddy Field Engineering, Asian Institute of Technology, Thailand.

16- Yield Response to Water (1979): Irrigation and Drainage Paper. No. 33. FAO, Rome.

17- Yoshida, Sh (1981): Fundamentals of Rice Crop Science. Theintern Rice Inst. Philippines.

18- Yukawa, K.and Y, Inoue (1979): Irrigation Water Management, No.12, UIATC, JICA.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری[1]

ابراهیم پذیرا[2]

۱ـ مقدمه

با دیدگاه‌های جدید، زهکشی فرآیندی برای خارج نمودن آب سطحی اضافی و مدیریت سفره آب زیرزمینی کم عمق از طریق نگهداشت و دفع آب و مدیریت کیفیت آن برای رسیدن به منافع دلخواه اقتصادی و اجتماعی است در حالیکه محیط زیست نیز حفظ گردد. در شالیزارها، نقش عمده زهکشی زیرزمینی، مدیریت آب، خشک کردن زمین در هنگام پنجه‌زنی و قبل از برداشت است. زهکشی زیرزمینی در شالیزارها، امکان کشت دوم را نیز فراهم می‌کند که می‌تواند در بهبود اقتصاد خانواده، نقش مهمی را داشته باشد.

۲- اهداف اختصاصی احداث زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری

زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری به طور عمده در کشورهای آسیای جنوب شرقی مورد استفاده قرار گرفته است. کنترل سطح آب زیرزمینی در تمامی زراعت هاو نیز زراعت برنج بسیار با اهمیت می‌باشد. زهکشی شالیزاری، در حقیقت نوعی زهکشی کنترل شده است و امکان پایین انداختن سطح ایستابی از طریق زهکشی زیرزمینی وچاهک‌های کنترل کننده۳ که بوسیله آن می‌توان جریان زهکشی

۱- ارایه شده در پنجمین کارگاه زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران- تهران ۱۳۸۷.

۲- عضو گروه کار زهکشی و محیط زیست، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، عضو هیئت علمی و مدیر گروه واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران

3- Controlled structures.

زیرزمینی را تنظیم نمود امکان‌پذیر است. بطوریکه سطح آب زیرزمینی را در دوره آبیاری می‌توان با بستن چاهک مزبور بالا آورده و همین طور با باز نمودن چاهک امکان کاهش سریع سطح ایستابی (نسبت به سطح مزرعه) وجود خواهد داشت. مزایای زیر از طریق نصب سامانه زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری وجود دارد.

- **بهبود نفوذپذیری خاک**، افزایش نفوذپذیری قائم خاک می‌تواند موجب تسریع در کنترل سطح آب زیرزمینی گردیده و خشک نمودن سطح خاک مزرعه را در ایام مورد نظر امکان‌پذیر نماید.
- **بهبود شرایط فیزیکی خاک**، کاهش میزان آب خاک موجب بهبود تهویه خاک و جلوگیری از باقی ماندن مواد سمی در خاک می‌شود. علاوه بر این، موجب کاهش تثبیت کودهای معدنی می‌گردد.
- **بهبود بار پذیری خاک**[1] **و بهبودتردد**[2] **ماشین‌های کشاورزی**، چند روز پس از زهکشی وتخلیه آب روی سطح مزرعه، امکان استفاده از ماشین‌های برداشت و سپس اقدام به کشت دوم فراهم می‌گردد.
- **تنوع کاربری اراضی شالیزاری**، افزایش نفوذپذیری و کاهش سطح آب زیرزمینی، هم چنین فراهم آمدن شرایط اجرای عملیات شخم و پوک نمودن خاک،امکان تنوع بخشی کاربری اراضی شالیزاری را فراهم می‌آورد.

۳- مطالعات تکمیلی خاکشناسی اراضی شالیزاری

طبقه‌بندی اراضی عبارت از ارزیابی سیستماتیک زمین با در نظر گرفتن ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، زهکشی، دسته‌بندی عوامل مورد بررسی و مشابه فیزیکی و اقتصادی آنها بطریقی است که بتوان اراضی را از دیدگاه‌های قابلیت و صرفه اقتصادی، توسعه پایدار کشاورزی، مدیریت آبیاری و در نهایت افزایش عملکرد محصولات کشاورزی تفکیک و طبقه‌بندی نمود.

اصول اساسی و اولیه تجزیه و تفکیک فیزیکی، شیمیایی و اقتصادی اراضی "خشکه‌زاری" از "شالیزاری" عبارتند از:

- توانمندی حفظ شرایط استغراق آب بروی سطح زمین؛
- قابلیت اعمال عملیات گلخرایی بروی اراضی؛ و
- امکان کنترل سطح ایستابی در زیر سطح خاک مزرعه.

بنابراین نخستین عامل مورد بررسی برای تجزیه و تفکیک کلاس‌های خاک اراضی شالیزاری مرطوب، وضعیت کنترل آب در ارتباط با ویژگی‌های خاک و شرایطی است که امکان برقراری رژیم رطوبتی مطلوب را برای تولید برنج فراهم می‌آورد.

1- Bearing Capacity.
2- Trafficability.

۳-۱- حداقل نیاز برای طبقه‌بندی

آنچه که بیش از هر چیز برای طبقه بندی اراضی شالیزاری ضرورت دارد، داشتن استانداردی است تا همه کارشناسان با نگرشی واحد نسبت به طبقه بندی اراضی اقدام کنند. در حال حاضر چنین روش نامه‌ای وجود ندارد.

۳-۲- ویژگی‌های طبقه‌بندی خاک و اراضی شالیزاری

حداقل مشخصات فیزیکی برای هر کلاس اراضی و اطلاعات مورد نیازبرای تفکیک و طبقه‌بندی خاک بطوری که امکان مقایسه خاک‌های محدوده را فراهم آورد، بسهولت قابل بیان نیست. بدین دلیل ضروریست برای شرایط هر منطقه، حداقل مشخصات لازم با توجه به ویژگی‌های منطقه و تجربیات موجود برنامه‌ریزی و تعیین گردد.

۴- بررسی‌های قابلیت زهکشی خاک و اراضی

مطالعات زهکشی خاک، که از طریق بررسی‌های میدانی انجام می‌شود، شامل تعیین عمق، شیب، چگونگی نوسانات سطح ایستابی (سفره اول)، وجود یا عدم وجود آبخوانهای تحت فشار (آرتزین) یا نیمه تحت فشار، ضخامت و چگونگی نفوذپذیری افق‌های موجود در نیمرخ خاک و بطور مشخصی لایه‌های زیرین (که ممکن است موجب عدم امکان نفوذ و تحرک آب در خاک را فراهم آورد) می‌گردد. این مطالعات بطور عمده مشتمل بر کلیه یا بخشی از مواردزیر است:

- تهیه طرح و احداث شبکه چاهک‌های مشاهده‌ای برای بررسی چگونگی نوسان سطح ایستابی اراضی.
- انجام حفاری‌های مورد نیاز در زمینه شناخت طبقات خاک (لایه‌بندی) و تعیین محل استقرار لایه محدودکننده در گستره منطقه مطالعاتی.
- ارایه برنامه و پیشنهادات لازم درخصوص تعداد و روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک‌ها.
- اندازه‌گیری نفوذپذیری و هدایت هیدرولیکی خاک‌ها.
- ارایه توصیه‌های لازم در مورد مطالعات اصلاح خاک و اراضی در صورت نیاز.

۵- خصوصیات پدولوژیکی[1] و هیدرودینامیکی[2] خاک‌ها

در مطالعات جاری خاکشناسی، به طور معمول شناسائی افق‌های نیمرخ خاک تا عمق ۱/۲۵ و حداکثر ۱/۵۰ متری بانجام می‌رسد. در بررسی‌های زهکشی، شناخت ویژگی لایه‌های عمیق‌تر نیمرخ خاک بخصوص از نظر لایه محدود کننده و هدایت هیدرولیکی افق‌های نیمرخ خاک با اهمیت تلقی می‌گردد.

1- Pedological.
2- Hydrodynamical.

به نظر می‌رسد عمق استقرار زهکش‌های زیرزمینی در شرایطی نظیر آنچه در اراضی شالیزاری در کشور حاکم است، باید در ۱/۰-۰/۹ متری انتخاب شود. در اکثر شرایط، عمق چاهک‌های لایه‌بندی ۱/۵ تا ۳/۰ متر انتخاب می‌گردد.

اطلاع از ویژگی‌های فیزیکی افق‌های زیرین و بالائی محل قرار گرفتن زهکش‌های زیرزمینی از اعتبار زیادی برخوردار است. بعلاوه تعیین روش اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک‌ها منوط به برآورد لایه محدود کننده[1] در نیمرخ خاک است. هم چنین بافت خاک طبقات نیز در تعیین نوع و ضخامت مواد پوششی زهکش‌های زیرزمینی مؤثر می‌باشد.

۵-۱- نفوذپذیری خاک

در اراضی شالیزاری بدلیل ایجاد سخت لایه‌ای در جریان عملیات گلخرایی در افق‌های سطحی نیمرخ خاک (۰/۳-۰/۲۰ متر)، اندازه‌گیری سرعت نفوذ آب به خاک با استفاده از استوانه‌های مضاعف امکان‌پذیر نمی‌باشد. بدین دلیل راهکار خاصی بنام "روش سریع[2] " ابداع و در اکثر کشورهای جنوب شرقی آسیا که زراعت برنج در آنها کشت غالب محسوب می‌گردد، عمومیت یافته است. از نظر علمی این روش همانند اندازه‌گیری نفوذپذیری نمونه خاک به روش "بارافتان[3] " می‌باشد.

۵-۲- لایه محدود کننده

در بررسی ویژگی‌های خاک برآورد لایه محدود کننده از اهمیت بیشتری برخوردار است. از میان عوامل تشخیص لایه محدود کننده، تشخیص صحیح بافت خاک، وجود ذرات درشت و انتقال دهنده آب از جمله بلورهای گچ وذرات شن نقش موثرتری را دارا می‌باشند.

مقاومت هیدرولیکی[4] افق مشخصه‌ای از نیمرخ خاک را می‌توان بصورت رابطه زیر ارایه نمود:

$$C = \frac{D}{Kv} \qquad (۱)$$

که در آن :

C ، مقاومت هیدرولیکی لایه مورد نظر (روز)

D ، ضخامت افق مورد نظر (سانتیمتر)

Kv، هدایت هیدرولیکی عمودی لایه مورد نظر (سانتیمتر در روز)

مقادیر زیر برای بیان "مقاومت هیدرولیکی" خاک‌ها ارایه شده است.

- مقادیر C=۲۵۰ یا بیشتر موید وجود لایه غیرقابل نفوذ واقعی در نیمرخ خاک؛

1- Barrier.
2- Quick Method.
3- Falling Head Method.
4- Hydraulics Resistance.

- مقادیر C =۵۰ یا کمتر بیانگر عدم وجود لایه محدود کننده در نیمرخ خاک؛ و
- مقادیر C =۲۵۰-۵۰ معرف طبقاتی است که ممکن است دارای محدودیت‌های زهکشی معنی‌داری باشند. در این شرایط بایستی ویژگی‌های هیدرولیکی لایه‌های خاک هم جوار را نیز بررسی و سپس قضاوت نمود.

۵-۳- هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها

بطور کلی، جریان آب به سمت زهکش‌ها بطور عمده افقی می‌باشد و هدایت هیدرولیکی افقی و اشباع خاک از مهمترین ویژگی‌های هیدرودینامیکی خاک‌ها است که در محاسبه فواصل زهکش‌های زیرزمینی مورد نیاز می‌باشد.

روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک‌ها وجود دارد. این اندازه‌گیری‌ها را می‌توان در آزمایشگاه و یا در محل واقعی (مزرعه) بانجام رسانید. آزمایشهای مزرعه‌ای به دو گروه زیر سطح ایستابی و بالای سطح ایستابی تقسیم‌بندی می‌گردند. برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در شرایط زیر سطح ایستابی دو روش معمول و متداول‌تر است که عبارتند از : روش چاهک[1] و روش حفره زیر لوله (روش پیزومتری[2]). روش چاهک عموماً برای اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی در لایه‌هایی که آزمایش در آن انجام می‌شود و روش دوم برای اندازه‌گیری در یک لایه خاص بانجام می‌رسد.

روش‌های متداول در اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی خاک در بالای سطح ایستابی عبارتند از: روش چاهک معکوس (پورشه)، روش تزریق به درون چاهک و روش نفوذسنج گلف.

در ایران "روش چاهک" بیش از سایر روشها متداول است و نتایج حاصل از آن ارقام و اعداد مطلوبتر و منطقی‌تری را حاصل می‌نماید.

۶- مبانی طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی

در طراحی زهکش‌های زیرزمینی شالیزارها،آنچه که از اهمیت بیشتری برخوردار است، مربوط به خشک شدن بموقع زمین برای کشت دوم است. بنا بر این اصولا طراحی زهکشی بر اساس کشت دوم صورت می‌گیرد.

برای طراحی سامانه زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری لزوم توجه خاص به موارد زیر ضروری است:

- مشخص نمودن محدوده‌هایی از اراضی که به زهکشی زیرزمینی نیاز دارند؛
- مواد و مصالح زهکشی؛
- زمان مناسب برای احداث سامانه زهکشی زیرزمینی؛

1- Auger Hole Method.
2- Piezometer Method.

- روش‌های اجرای زهکش‌های زیرزمینی؛
- ارتباط سامانه زهکشی با سایر تأسیسات زیربنایی؛
- هزینه‌های مورد نیاز احداث سامانه؛ و
- روش های بهره‌برداری و نگهداری از سامانه زهکشی.

۶-۱- ضریب زهکشی عمقی یا شدت تخلیه زهکش‌های زیرزمینی

در روابط تعیین فاصله زهکش‌های زیرزمینی که فرض ماندگاری جریان در آن اعمال گردیده است، ضریب زهکشی عمقی برای کشت دوم بکار گرفته می‌شود. در جداول زیر بعضی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها و مقادیر نفوذ عمقی مورد انتظار ارایه شده است.

جدول (۱)- بعضی ویژگی‌های فیزیکی خاک‌ها

ردیف	نوع اجزاء غالب خاک	اندازه (قطر) ذرات خاک (میلیمتر)	نفوذپذیری خاک		میزان نفوذ عمقی	
			نام توصیفی	علامت اختصاری	سانتیمتر در ساعت	متر در روز
۱	رس	<۰/۰۰۲	خیلی آهسته	V.S	<۰/۱۳	<۰/۰۳۰
۲	سیلت (لای)	۰/۰۵۰-۰/۰۰۲	آهسته	S	۰/۵۱-۰/۱۳	۰/۱۲-۰/۰۳۰
۳	ماسه بسیار ریز	۰/۱۰۰-۰/۰۵۰	تقریباً آهسته	M.S	۲/۰۳-۰/۵۱	۰/۴۹-۰/۱۲
٤	ماسه ریز	۰/۲۵۰-۰/۱۰۰	متوسط	M	٦/۳۵-۲/۰۳	۱/۵۲-۰/٤۹
۵	ماسه متوسط	۰/۵۰۰-۰/۲۵۰	تقریباً سریع	M.R	۱۲/۷۰-٦/۳۵	۳/۰۵-۱/۵۲
٦	ماسه درشت	۱/۰۰-۰/۵۰۰	سریع	R	۲۵/٤۰-۱۲/۷۰	٦/۱-۳/۰۵
۷	ماسه خیلی درشت	۲/۰۰-۱/۰۰	خیلی سریع	V.R	> ۲۵/٤۰	> ٦/۱

جدول (۲)- مقادیر متوسط ضریب زهکشی برای اراضی مورد آبیاری

ردیف	ویژگی‌های خاک	عملیات مدیریتی آبیاری	ضریب زهکشی (میلیمتردرروز)
۱	خاک‌های با نفوذپذیری کم	شرایط زهکشی طبیعی محدود کننده	<۱/۵
۲	خاک‌های نفوذپذیر	شرایط زهکشی طبیعی و زراعت متراکم	۳/۰-۱/۵
۳	خاک‌های نفوذپذیر	عملیات مدیریتی آبیاری ضعیف و یا در شرایط آبشوئی برای کنترل نمکهای محلول خاک	٤/۵-۳/۰
٤	خاک‌های بسیار نفوذپذیر	آبیاری اراضی شالیزاری در خاک‌های سبک	>٤/۵

۶-۲- دبی طراحی سامانه زهکشی زیرزمینی

دبی طراحی با توجه به اندازه قطعات، چگونگی و کیفیت عملیات تسطیح، نفوذپذیری خاک و تنوع کاربری اراضی می‌تواند از حداقل ۱۰ تا حداکثر ۵۰ میلیمتر در روز تغییر داشته باشد. حجم دبی خروجی زهکش زیرزمینی برابر با تخلیه کل مقدار آب استغراقی برروی سطح مزرعه و میزان آب ثقلی موجود در نیمرخ خاک است.

دبی طراحی سامانه زهکشی زیرزمینی را می‌توان از طریق دوره زمانی لازم برای تخلیه کل حجم آب باقیمانده برروی سطح خاک مشخص نمود. دوره زمانی مجاز در اراضی شالیزاری برای تخلیه آب باقیمانده برروی سطح خاک در جدول (۳) نشان داده شده است و بطور کلی ۲-۱ روز می‌باشد. بدیهی است مقداری از این آب اضافی توسط زهکش‌های روباز دفع می‌شود.

جدول (۳)- دوره زمانی مجاز برای تخلیه آب باقیمانده بروی سطح اراضی شالیزاری

ردیف	در دوره آبیاری		در ایام بدون آبیاری	
	عملیات زراعی	دوره زمانی مجاز (روز)	عملیات زراعی	دوره زمانی مجاز (روز)
۱	وجین و مصرف کود	۲-۱	آیش و آماده‌سازی بستر کشت	۳-۱
۲	مستغرق نمودن و زهکشی پس از استقرار گیاهچه‌ها	۱	بذرکاری (کشت در خزانه یا بذرکاری مستقیم)	۲-۱
۳	زهکشی اواسط تابستان	۳-۲	سبز شدن بذور کاشته شده	۲-۱
٤	خاتمه عملیات آبیاری	۵-۳	برداشت محصول	۲-۱
۵	-	-	کشت دوم در مزرعه	۳-۲

جدول (٤)- رابطه بین محدوده زهکشی و ضریب زهکشی زیرزمینی

(ارقام متن جدول برحسب لیتر در ثانیه)

ردیف	محدوده مورد زهکشی زیرزمینی (مترمربع)	ضریب زهکشی زیرزمینی یا شدت تخلیه عمقی (میلیمتر در روز)									
		٥٠	٤٥	٤٠	٣٥	٣٠	٢٥	٢٠	١٥	١٠	٥
١	١٠٠	٠/٠٦	٠/٠٥	٠/٠٥	٠/٠٤	٠/٠٣	٠/٠٣	٠/٠٢	٠/٠٢	٠/٠١	٠/٠١
٢	٢٠٠	٠/١٢	٠/١٠	٠/٠٩	٠/٠٨	٠/٠٧	٠/٠٦	٠/٠٥	٠/٠٣	٠/٠٢	٠/٠١
٣	٣٠٠	٠/١٧	٠/١٦	٠/١٤	٠/١٢	٠/١٠	٠/٠٩	٠/٠٧	٠/٠٥	٠/٠٣	٠/٠٢
٤	٤٠٠	٠/٢٣	٠/٢١	٠/١٩	٠/١٦	٠/١٤	٠/١٢	٠/٠٩	٠/٠٧	٠/٠٥	٠/٠٢
٥	٥٠٠	٠/٢٩	٠/٢٦	٠/٢٣	٠/٢٠	٠/١٧	٠/١٤	٠/١٢	٠/٠٩	٠/٠٦	٠/٠٣
٦	١٠٠٠	٠/٥٨	٠/٥٢	٠/٤٦	٠/٤٠	٠/٣٥	٠/٢٩	٠/٢٣	٠/١٧	٠/١٢	٠/٠٦
٧	٢٠٠٠	١/١٦	١/٠٤	٠/٩٣	٠/٨١	٠/٦٩	٠/٥٨	٠/٤٦	٠/٣٥	٠/٢٣	٠/١٢
٨	٣٠٠٠	١/٧٤	١/٥٦	١/٣٩	١/٢١	١/٠٤	٠/٨٧	٠/٦٩	٠/٥٢	٠/٣٥	٠/١٧
٩	٤٠٠٠	٢/٣١	٢/٠٨	١/٨٥	١/٦٢	١/٣٩	١/١٦	٠/٩٣	٠/٦٩	٠/٤٦	٠/٢٣
١٠	٥٠٠٠	٢/٨٩	٢/٦١	٢/٣١	٢/٠٢	١/٧٤	١/٤٥	١/١٦	٠/٨٧	٠/٥٨	٠/٢٩
١١	١٠٠٠٠	٥/٧٩	٥/٢١	٤/٦٣	٤/٠٥	٣/٤٧	٢/٨٩	٢/٣١	١/٧٤	١/١٦	٠/٥٨

٦-٣- طراحی برای کنترل سطح آب زیرزمینی و سرعت افت سطح ایستابی

سطح مجاز آب زیرزمینی برای انواع گیاهان در جدول زیر ارایه شده است. سطح آب زیرزمینی نمایه‌ای بسیار مهم می‌باشد که از آثار آن می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- شرایط رطوبتی خاک بالای سطح آب زیرزمینی
- میزان عملکرد محصولات
- قابلیت تردّد ماشین‌های مزرعه‌ای

جدول (٥)- سطح مجاز آب زیرزمینی مورد نیاز برای انواع گیاهان (فصلی، یکساله، دائمی)

ردیف	طبقه‌بندی کاربری اراضی	سطح آب زیرزمینی ٣-٢ روز پس از بارندگی (سانتیمتر)	سطح آب زیرزمینی ٧ روز پس از بارندگی (سانتیمتر)
١	فقط زراعت برنج	٣٠-٤٠	٤٠-٥٠
٢	مرتع، شالیزار در تناوب زراعی باگیاهان غیر از برنج	٤٠-٦٠	٥٠-٦٠
٣	گیاهان دایمی	٥٠-٦٠	٦٠-١٠٠

۷- تعیین فاصله و عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی

۷-۱- سیمای کلی شبکه

طراحی سیستم‌های زهکشی زیرزمینی مشتمل بر تهیه طرح کلی و چگونگی آرایش خطوط زهکشی، انتخاب خروجی مطلوب، محاسبه عمق و فواصل مناسب زهکش‌های مزرعه‌ای (فرعی)، تعیین قطر زهکش‌های زیرزمینی (فرعی و جمع کننده)، انتخاب مواد و مصالح مناسب و با کیفیت مرغوب و سازه‌های مربوطه از جمله ابنیه خروجی سامانه می‌باشد.

۷-۲- عمق مناسب نصب زهکش‌های زیرزمینی

عوامل مؤثر در تعیین عمق مناسب زهکش‌های زیرزمینی در مباحث قبل مورد بحث قرار گرفت، از دیدگاه نظری هرچه عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی بیشتر باشد، فاصله بین دو خط زهکشی افزایش می‌یابد؛ لیکن در عمل محدودیت‌هایی برای نصب زهکش‌های زیرزمینی بشرح زیر وجود دارد:

- دقت در تعیین عمق مجاز سطح ایستابی بین دو خط زهکش
- تعین افق مناسب برای نصب زهکش‌های زیرزمینی، با توجه به لایه‌های با آبگذری بیشتر در نیمرخ خاک
- امکانات اجرایی، زیرا عمق طراحی برای نصب زهکش‌های زیرزمینی نه تنها تابع عوامل فیزیکی و هیدرولیکی خاک بلکه تابع امکانات اجرایی نیز می‌باشد.

موارد زیر در مورد عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی برای اراضی شالیزاری توصیه گردیده است.

الف- برای قطعاتی که بطور دائمی زیر کشت برنج قرار می‌گیرند،عمق مناسب کنترل سطح ایستابی از سطح خاک مزرعه در حدود ۰/۵-۰/٤ متر برای رشد و نمو مطلوب رویشی و زایشی توصیه گردیده است.

ب - برای اراضی شالیزاری که پس از برداشت برنج، اقدام به کشت سایر گیاهان زراعی می‌شود، کنترل سطح ایستابی در محدوده‌های ۰/۵-۰/٤ متر برای رشد و نمو مناسب سایر گیاهان زراعی در تناوب با زراعت برنج مورد نیاز خواهد بود. عمق ریشه گیاهانی که کشت پاییزه و زمستانه آنها بدون نیاز به آب آبیاری در مناطق شالیزاری و مرطوب کشور می‌تواند مورد اقدام قرار گیرد درجدول زیر ارایه شده است:

جدول (٦)- عمق توسعه ریشه بعضی از انواع گیاهان زراعی فصلی

ردیف	نوع گیاهان	نام توصیفی و عمق توسعه ریشه گیاهان انتخابی (متر)		
		خیلی کم عمق ۰/۲۰>	کم عمق ۰/۳۰>	تقریباً کم عمق ۰/۵>
۱	برگی یا علوفه‌ای	شوید، جعفری، گشنیز، ترتیزک (شاهی)، تره	کاهو، اسفناج، کلم معمولی، گل کلم	علوفه مرتعی، شبدر برسیم
۲	ریشه‌ای یا غده‌ای	-	ترب سفید	پیاز، سیر، هویج فرنگی، شلغم
۳	میوه‌ای یا دانه‌ای	-	توت فرنگی	لوبیا سبز، باقلا، کدو، کلزا

با توجه به مندرجات جدول ملاحظه می‌گردد که از میان انواع گیاهانی که در شرایط گفته شده امکان کشت و کار آن در سطح قطعات می‌تواند مورد توجه قرار گیرد، شبدر برسیم با طول دوره رشد حدود شش ماه و عمق ریشه‌دوانی کمتر از ۰/۵ متر مقبولیت بیشتری می‌تواند داشته باشد. بنابراین اجرای تناوب زراعی برنج- شبدر (برسیم)یا برنج-کلزا را می‌توان بعنوان تناوب زراعی مطلوب مورد توجه قرار دارد.

نصب زهکش‌های زیرزمینی (مجهز به سازه های زهکشی کنترل شده) در اعماق ۱/۰-۰/۹ متر می‌تواند اهداف مورد نظر را برای اراضی شالیزاری در تناوب با شبدر برسیم یا کلزا مناسب و مطلوب باشد.

توجه : برای آن قبیل اراضی خشکه‌زاری مورد کشت و آبیاری در مناطق غیرمرطوب (اقلیم‌های خشک و نیمه خشک) که زراعت برنج در تناوب زراعی با سایر گیاهان در ترکیب کشت قرار دارد، تنها می‌توان از زهکشی کنترل شده بهره گیری کرد. در این حالت نیز طراحی زهکشی بر اساس کشت دوم صورت می‌گیرد.

۷-۳- محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری

فاصله و عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی بطور قابل ملاحظه‌ای با هدایت هیدرولیکی اشباع، مدیریت‌های زراعی، نوع گیاه و ویژگی‌های زهکشی سطحی اراضی محدوده مورد مطالعه بستگی دارد. در شرایط اعمال عملیات مناسب مدیریتی برروی گیاه و خاک‌های مورد بهره‌برداری اعماق و فواصل زهکش‌های زیرزمینی را در اراضی شالیزاری می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

- **فاصله زهکش‌های زیرزمینی برای کشت اصلی (زراعت برنج)**

هرچند برنج قادر است در شرایط اعمال روشهای آبیاری غرقاب دایم و یا متناوب رشد و نمو نموده و عملکردهای نسبی مورد انتظار را تولید نماید، لزوم تخلیه مقادیر کمی "نفوذ عمقی روزانه" از بخش زیرین محدوده توسعه ریشه گیاه وجود خواهد داشت. در غیر اینصورت در شرایط اشباع خاک ترکیباتی از قبیل آهن، منگنز و گوگرد احیاء گردیده که در نتیجه آن انواع مواد سمی و مضر در خاک ایجاد می‌شود. تراکم غلظت این مواد، کمبود اکسیژن و افزایش میزان گاز کربنیک در خاک و یا اثر مشترک این عوامل می‌تواند موجب بروز اثرات نامطلوبی بر

تنفس، جذب آب و یون‌ها گردد. بنابراین مقادیر نفوذ عمقی اندک روزانه را بایستی جزیی از "نیاز آبیـاری زراعـت برنج" در اراضی شالیزاری محسوب نمود. این مقدار نفوذ عمقی را می‌توان با زهکشی کنترل شده به آسانی تأمین کرد.

در جدول زیر آب مورد نیاز زراعت برنج و نفوذ عمقی در اراضی شالیزاری مناطق مختلف کشور ارایه شده است.

جدول (۷)- آب مورد نیاز و نفوذ عمقی برنج در شمال کشور

ردیف	طول دوره زراعت (روز)	نام منطقه (استان)	نیاز خالص آبی گیاه (میلیمتر)	تراوشات عمقی در دوره زراعت (میلیمتر)	نیاز آبی گیاه برنج (میلیمتر)	بارندگی مؤثر در دوره زراعت (میلیمتر)	نیاز آبیاری در دوره زراعت (میلیمتر)	حداکثر میزان تراوشات عمقی (میلیمتردرروز)
۱	۱٤۱	مازندران (ساری)	٦٤۰	۲۳۳	۱۰۷۳	۱٤٥	۹۲۸	۲/۰
۲	۱٤۲	گیلان (رشت)	٥۳٦	۱۷٤	۹۱۰	۱۹۳	۷۱۷	۱/٥
۳	۱۳۲	گلستان (گرگان)	٦٥۲	۲٥۷	۱۱۰۹	۱۱٦	۹۹۳	۲/٥

* ۲۰۰ میلیمتر عمق آب برای آماده‌سازی زمین و عملیات گلخرایی منظور شده است.

** طول دوره زراعت با احتساب ایام تهیه و آماده سازی زمین برای کشت نشاء برنج می‌باشد.

با کاربرد حداکثر میزان نفوذعمقی مندرج در جدول فوق، برآوردهدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌های با بافت‌های متفاوت، فرض کردن عمق لایه محدود کننده در ۱/۰، ۱/٥ و ۲/۰ متری از سطح خاک و منظور نمودن عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی در ۰/۹، ۰/۹٥ و ۱/۰ متری از سطح مزرعه و با در نظر گرفتن حداکثر بار هیدرولیکی بین دو خط زهکش در حد ۰/٥ متر که شرایط لازم برای توسعه ریشه برنج و کشت دوم بصورت توامان فراهم خواهد بود، فواصل زهکش‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری بعنوان "راهنما" در جداول زیر ارایه گردیده است.

جدول (۸)- فواصل زهکش‌های زیرزمینی برای شرایط متفاوت فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های مختلف [برای کشت اصلی (زراعت برنج) در اراضی شالیزاری و مرطوب]

عمق لایه محدود کننده ۱/۰ متر، عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی ۰/۹ متر، حداکثر بار هیدرولیکی بین دو خط زهکش ۰/۵ متر، عمق سطح ایستابی بین دو خط زهکش تا سطح زمین ۰/٤ متر و شعاع لوله زهکشی ۰/۰۵ متر

ردیف	بافت خاک *	هدایت هیدرولیکی خاک (متر در روز)		ضریب زهکشی یا شدت تخلیه (متر در روز)			میانگین فواصل زهکش‌های زیرزمینی (متر)
		نام توصیفی	حدود تغییرات	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۵	
۱	رسی سنگین، رسی	خیلی آهسته	< ۰/۰۳۰-۰/۰۷۵	٦/۸۵	۵/۹۵	۵/۳۰	٦
۲	سیلتی رسی، شنی رسی	آهسته	۰/۱۲۵-۰/۳۰۵	۱۳/۸۰	۱۱/۹۵	۱۰/۷۰	۱۲
۳	رسی لومی، سیلتی رسی لومی	تقریباً آهسته	۰/٤۸۵-۱/۰۰۰	۲٦/۰۰	۲۲/۵۰	۲۰/۱۰	۲۳
٤	شنی رسی لومی، لومی	متوسط	۱/۵۰۰-۲/۳۰۰	٤۱/۹۵	۳٦/۳۵	۳۲/۵۰	۳۷
۵	سیلتی لومی، شنی لومی	تقریباً سریع	۳/۰۵۰-٤/۵۵۰	۵۹/۳۵	۵۱/٤۰	٤۹/۹۵	۵۳
٦	شنی لومی ریز، لومی شنی ریز **	سریع	> ٦/۰۰۰	۷۵/٤۰	٦۹/۸۰	۵۸/٤۰	٦۸

* نام توصیفی ردیف‌های ۱ تا ۶ به ترتیب: خیلی سنگین (V.H)، سنگین (H)، تقریباً سنگین (M.H)، متوسط (M)، تقریباً سبک (M.L) و سبک (L) می‌باشد.

** بافت خاک‌های شنی لومی و شنی که از نظر توصیفی خیلی سبک (V.L) محسوب می‌گردند، نیز شامل اطلاعات مندرج در ردیف ۶ جدول هستند.

جدول (۹)- فواصل زهکش‌های زیرزمینی برای شرایط متفاوت فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های مختلف [برای کشت اصلی (زراعت برنج) در اراضی شالیزاری و مرطوب]

عمق استقرار لایه محدود کننده ۱/۵ متر، عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی ۰/۹۵ متر، حداکثر بار هیدرولیکی بین دو خط زهکش ۰/۵ متر، عمق سطح ایستابی بین دو خط زهکش تا سطح زمین ۰/٤٥ متر و شعاع لوله زهکشی ۰/۰۵ متر در محاسبات منظور شده است.

ردیف	بافت خاک *	هدایت هیدرولیکی خاک (متر در روز)		ضریب زهکشی یا شدت تخلیه (متر در روز)			میانگین فواصل زهکش‌های زیرزمینی (متر)
		نام توصیفی	حدود تغییرات	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۵	
۱	رسی سنگین، رسی	خیلی آهسته	< ۰/۰۳۰-۰/۰۷۵	۹/۸۵	۸/٤٥	۷/۵۰	۹
۲	سیلتی رسی، شنی رسی	آهسته	۰/۱۲۵-۰/۳۰۵	۲۰/۲۵	۱۷/٤٥	۱۵/۵۵	۱۸
۳	رسی لومی، سیلتی رسی لومی	تقریباً آهسته	۰/٤۸۵-۱/۰۰۰	۳۸/٦٥	۳۳/٤۰	۲۹/۸۰	۳٤
٤	شنی رسی لومی، لومی	متوسط	۱/۵۰۰-۲/۳۰۰	٦۲/۸۰	۵٤/۳۵	٤۸/۵۵	۵۵
۵	سیلتی لومی، شنی لومی	تقریباً سریع	۳/۰۵۰-٤/۵۵۰	۸۹/۱۰	۷۷/۰۵	٦۸/۹۰	۷۸
٦	شنی لومی ریز، لومی شنی ریز **	سریع	> ٦/۰۰۰	۱۱۳/٤	۹۸/۲۰	۸۷/۷۰	۱۰۰

* نام توصیفی ردیف‌های ۱ تا ۶ به ترتیب: خیلی سنگین (V.H)، سنگین (H)، تقریباً سنگین (M.H)، متوسط (M)، تقریباً سبک (M.L) و سبک (L) می‌باشد.

** بافت خاک‌های شنی لومی و شنی که از نظر توصیفی خیلی سبک (V.L) محسوب می‌گردند، نیز شامل اطلاعات مندرج در ردیف ۶ جدول هستند.

جدول (۱۰)- فواصل زهکش‌های زیرزمینی برای شرایط متفاوت فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های مختلف [برای کشت اصلی (زراعت برنج) در اراضی شالیزاری و مرطوب]

عمق استقرار لایه محدود کننده ۲/۰ متر، عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی ۱/۰ متر، حداکثر بار هیدرولیکی بین دو خط زهکش ۰/۵ متر، عمق سطح ایستابی بین دو خط زهکش تا سطح زمین ۰/۵ متر و شعاع لوله زهکشی ۰/۰۵ متر در محاسبات منظور شده است.

ردیف	بافت خاک *	هدایت هیدرولیکی خاک (متر در روز)		ضریب زهکشی یا شدت تخلیه (متر در روز)			میانگین فواصل زهکش‌های زیرزمینی (متر)
		نام توصیفی	حدود تغییرات	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۵	
۱	رسی سنگین، رسی	خیلی آهسته	< ۰/۰۳۰-۰/۰۷۵	۱۱/۳۵	۹/٦۵	۸/۵۰	۱۰
۲	سیلتی رسی، شنی رسی	آهسته	۰/۱۲۵-۰/۳۰۵	۲٤/۲۵	۲۰/۸۰	۱۸/٤۵	۲۱
۳	رسی لومی، سیلتی رسی لومی	تقریباً آهسته	۰/٤۸۵-۱/۰۰۰	٤۷/۲۰	٤۰/٦۵	۳٦/۲۰	٤۱
٤	شنی رسی لومی، لومی	متوسط	۱/۵۰۰-۲/۳۰۰	۷۷/٤۰	٦٦/۸۵	۵۹/٦۰	٦۸
۵	سیلتی لومی، شنی لومی	تقریباً سریع	۳/۰۵۰-٤/۵۵۰	۱۱۰/۲۵	۹۵/۲۵	۸۵/۰۰	۹۷
٦	شنی لومی ریز، لومی شنی ریز **	سریع	> ٦/۰۰۰	۱٤۰/۷	۱۲۱/٦۰	۱۰۸/٦۰	۱۲٤

* نام توصیفی ردیف‌های ۱ تا ۶ به ترتیب: خیلی سنگین (V.H)، سنگین (H)، تقریباً سنگین (M.H)، متوسط (M)، تقریباً سبک (M.L) و سبک (L) می‌باشد.

** بافت خاک‌های شنی لومی و شنی که از نظر توصیفی خیلی سبک (V.L) محسوب می‌گردند، نیز شامل اطلاعات مندرج در ردیف ۶ جدول هستند.

نتیجه‌گیری:

در اقدام تفصیلی و دقیق‌تر دیگری با انتخاب متغیرهای فیزیکی و هیدرولیکی زیر:

- عمق استقرار لایه محدود کننده در اعماق ۱/۰، ۱/۵ و ۲/۰ متری از سطح خاک
- عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی در اعماق ۰/۹۰، ۰/۹۵ و ۱/۰ متری از سطح مزرعه
- حداکثر بار هیدرولیکی (آبی) در حد ۰/۵۰ متر بین دو خط زهکش
- مقادیر هدایت هیدرولیکی اشباع خاک در محدوده‌های ۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵، ۰/۲۰، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵، ۱/۰۰، ۱/۲۵، ۱/۵۰، ۱/۷۵ و ۲/۰۰ متر در روز
- ضریب زهکشی زیرزمینی یا شدت تخلیه در محدوده‌های ۰/۰۰۱۰، ۰/۰۰۱۵، ۰/۰۰۲۰، ۰/۰۰۲۵، ۰/۰۰۳۰، ۰/۰۰۳۵، ۰/۰۰۴۰، ۰/۰۰۴۵ و ۰/۰۰۵۰ متر در روز

اقدام بعمل آمد که خلاصه نتایج حاصله در جدول زیر ارایه شده است.

جدول (۱۱)- متوسط عمق و فاصله نصب زهکش‌های زیرزمینی برای شرایط متفاوت فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های مختلف
[برای کشت اصلی (زراعت برنج) در اراضی شالیزاری و مرطوب]

ردیف	عمق استقرار لایه محدود کننده از سطح خاک (متر)	عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی (متر)	بار هیدرولیکی بین دو خط زهکش (متر)	حداقل فاصله سطح ایستابی از سطح خاک مزرعه (متر)	فواصل زهکش‌های زیرزمینی محاسبه شده (متر)		
					رابطه هوخهات	معادله کرکهام	میانگین دو روش محاسبه
۱	۱/۰	۰/۹۰	۰/۵۰	۰/٤۰	۱۸	۱۵	۱۷
۲		۰/۹۵		۰/٤۵	۱۷	۱٤	۱٦
۳		۱/۰		۰/۵۰	۱٦	۱۳	۱٤
میانگین		۰/۹-۱/۰		۰/٤-۰/۵	۱۷	۱٤	۱٦
٤	۱/۵	۰/۹۰	۰/۵۰	۰/٤۰	۲۹	۲٤	۲٦
۵		۰/۹۵		۰/٤۵	۲۸	۲۳	۲۵
٦		۱/۰		۰/۵۰	۲۷	۲۲	۲۵
میانگین		۰/۹-۱/۰		۰/٤-۰/۵	۲۸	۲۳	۲۵
۷	۲/۰	۰/۹	۰/۵	۰/٤۰	۳۵	۲۹	۳۲
۸		۰/۹۵		۰/٤۵	۳٤	۲۸	۳۱
۹		۱/۰		۰/۵۰	۳٤	۲۸	۳۱
میانگین		۰/۹-۱/۰		۰/٤-۰/۵	۳٤	۲۸	۳۱

* حدود تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها ۲/۰۰-۰/۰۵ متر در روز

** حدود تغییرات ضریب زهکشی یا شدت تخلیه (نفوذعمقی) ۰/۰۰۵-۰/۰۰۱۰متر در روز

- **زهکشی بر مبنای کشت شبدر برسیم به عنوان کشت دوم**

در استان مازندران شبدر برسیم در نیمه‌های دوم شهریور یا اول مهر ماه کشت می‌شود. طول دوره کشت تا برگرداندن بقایای زراعت شبدر به خاک حدود ٥ ماه بطول می‌انجامد که طی این مدت آب مورد نیاز گیاه از طریق بارندگی تأمین میشود.

اقدام به زراعت شبدر برسیم مستلزم کنترل سطح ایستابی در عمق حداقل ٠/٤ متر می‌باشد.

جمع بندی نتایج محاسبه فواصل زهکش‌های زیرزمینی بعنوان "راهنما" در جدول زیر ارایه شده است.

جدول (١٢)- متوسط عمق و فاصله نصب زهکش‌های زیرزمینی برای شرایط متفاوت فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های مختلف

[برای کشت دوم در اراضی شالیزاری و مرطوب (شبدر برسیم)]

ردیف	عمق استقرار لایه محدودکننده ازسطح خاک (متر)	عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی (متر)	حداکثر ارتفاع سطح ایستابی یا بارهیدرولیکی بین دوخط زهکش (متر)	حداقل فاصله سطح ایستابی از سطح خاک مزرعه (متر)	فواصل زهکش‌های زیرزمینی محاسبه شده (متر)		
					رابطه هوخهات	معادله کرکهام	میانگین دو روش
١	١/٠	٠/٩٠	٠/٥٠	٠/٤٠	١٥	١٤	١٤
٢		٠/٩٥		٠/٤٥	١٤	١١	١٣
٣		١/٠٠		٠/٥٠	١٣	١٠	١٢
ميانگين		٠/٩٠-١/٠٠		٠/٤٠-/٥٠	١٤	١١	١٣
٤	١/٥	٠/٩٠	٠/٥٠	٠/٤٠	٢٣	١٩	٢١
٥		٠/٩٥		٠/٤٥	٢٢	١٨	٢٠
٦		١/٠٠		٠/٥٠	٢٢	١٨	٢٠
ميانگين		٠/٩٠-١/٠٠		٠/٤٠-/٥٠	٢٢	١٨	٢٠
٧	٢/٠	٠/٩	٠/٥٠	٠/٤٠	٢٨	٢٣	٢٥
٨		٠/٩٥		٠/٤٥	٢٧	٢٢	٢٥
٩		١/٠٠		٠/٥٠	٢٧	٢٢	٢٤
ميانگين		٠/٩٠-١/٠٠		٠/٤٠-٠/٥٠	٢٧/	٢٢	٢٥

* حدود تغییرات هدایت هیدرولیکی اشباع خاک‌ها ٠/٠٥-٢/٠٠ متر در روز

** حدود تغییرات ضریب زهکشی یا شدت تخلیه (تراوشات عمقی) ٠/٠٠٣٠، ٠/٠٠٤٠٠ و ٠/٠٠٥٠ متر در روز

- **مقایسه نتایج فاصله زهکش‌های زیرزمینی برای کشت‌های اصلی (برنج) و دوم (شبدر برسیم) در اراضی شالیزاری**

زراعت برنج بدون عملیات آبیاری اصولی غیرممکن و بالعکس انجام زراعت شبدر برسیم با استفاده از شرایط مناسب اقلیمی بدون نیاز به آبیاری مقدور می‌باشد. ضریب زهکشی برای زراعت برنج در مناطق مورد بررسی با اعمال مدیریت‌های مطلوب زراعی و آبیاری بطور تقریبی نصف مقدار تراوشات عمقی طبیعی حاصل از بارندگی در دوره زراعت شبدر برسیم می‌باشد.هر چنداین اختلاف می‌تواند بر فواصل زهکش‌های زیرزمینی اثرگذار باشد، ولی چنانچه از زهکشی کنترل شده استفاده شود و همانند زهکشی

برنج، از خروج بیش از حد زهاب جلوگیری شود، در حقیقت، می‌توان ضریب زهکشی برنج و شبدر را به یکدیگر نزدیک کرد. در این صورت، فواصل محاسبه شده برای برنج می‌تواند تا حدود زیادی پاسخگوی نیاز شبدر نیز باشد.

٨- نتیجه‌گیری

محاسبه فاصله زهکش‌های زیرزمینی برای کشت برنج، به تنهایی یا در تناوب با شبدر قبلاً بیان گردید. بدلیل تعدّد عوامل موثر، ارایه راهکارهای مبتنی بر هریک از پارامترها بصورت منفرد و مجرد بسیار دشوار می‌نماید. بدین دلیل لازمست که بر پایه ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی خاک‌های مختلف تیپ‌هایی ارائه گردد.
جدول زیراحتیاجات زهکشی زیرزمینی خاک‌های مختلف برمبنای درجه‌بندی نسبی عمق لایه محدودکننده و هدایت هیدرولیکی آنها را نشان می‌دهد.

جدول (١٣)- فاصله مناسب زهکش‌ها برای هدایت هیدرولیک مختلف و لایه محدود کننده متفاوت

ردیف	هدایت هیدرولیکی خاک * (متر در روز)		عمق استقرار لایه محدود کننده در نیمرخ خاک (متر)			
	نام توصیفی	حدود تغییرات	خیلی کم عمق	کم عمق	متوسط	تقریباً عمیق
			≤ ٠/٥	≤١/٠	≤١/٥	≤٢/٠
١	خیلی آهسته	<٠/٠٣٠-٠/٠٧٥	تغییر کاربری اراضی یا عملیات زهکشی خاص	٥/٢٠ [٥/٠]	٧/٢٧ [٨/٠]	٨/٢٠ [١٠/٠]
٢	آهسته	٠/١٢٥-٠/٣٠٥	تغییر کاربری اراضی یا عملیات زهکشی خاص	١٠/٤٥ [١٠/٠]	١٥/١١ (١٥/٠)	١٧/٨٠ (١٥/٠)
٣	تقریباً آهسته	٠/٤٨٥-١/٠٠٠	تغییر کاربری اراضی یا عملیات زهکشی خاص	١٩/٦٦ (٢٠/٠)	٢٩/٠٠ (٣٠/٠)	٣٥/٠٦ (٣٥/٠)
٤	متوسط	١/٥٠٠-٢/٣٠٠	اعمال زیر خاک‌کنی یا عملیات زهکشی خاص	٣١/٧٨ (٣٠/٠)	٤٧/٣٩ (٤٥/٠)	٥٧/٨٥ (٦٠/٠)
٥	تقریباً سریع	٣/٠٥٠-٤/٥٥٠	اعمال زیر خاک کنی یا عملیات زهکشی خاص	٤٥/٩٣ (٤٥/٠)	٦٧/٧ (٦٠/٠)	٨٢/٦٤ (-)
٦	سریع	> ٦/٠٠٠	اعمال زیر خاک کنی یا عملیات زهکشی خاص	٥٧/١٣ (٦٠/٠)	٨٥/٦ (-)	١٠٥/٦٩ (-)

* نام توصیفی بافت خاک‌های ردیف‌های ١ تا ٦ به ترتیب خیلی سنگین (V.H)، سنگین (H)، تقریباً سنگین (M.H)، متوسط (M)، تقریباً سبک (M.L)، سبک (L) و خیلی سبک (V.L) می‌باشد.

** ارقام درون کروشه مانند [٥/٠] و [١٠/٠] فواصل پیشنهادی برای ایجاد مجاری زهکشی (حفره‌های زهکشی زیرزمینی) است.

*** ارقام درون پرانتز مانند (١٥/٠) تا (٦٠/٠) فواصل پیشنهادی برای احداث زهکش‌های زیرزمینی لوله‌ای (مزرعه‌ای) می‌باشد.

**** ارقام درون پرانتز مانند (-) بیانگر عدم نیاز به تعبیه سامانه‌های زهکشی زیرزمینی (مجاری زهکشی یا لوله‌ای) می‌باشد و پیش‌نیاز آن احداث زهکش‌های روباز با عمق کافی است. در شرایط تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، زهکش‌های جمع‌کننده روباز و یا مدفون (لوله‌ای مشبک با کاربرد مواد پوششی و عمق کافی) می‌تواند، منظور را عملی نمایند.

بررسی مندرجات این جدول امکان ارایه راهکارهای پیشنهادی را بشرح زیر فراهم می‌نماید:

- برای خاک‌هایی که لایه محدود کننده در نیمرخ خاک این اراضی ۰/۵≤ متر از سطح خاک باشد، امکان ایجاد هر نوع سامانه زهکشی زیرزمینی متعارف عملی بنظر نمی‌رسد. اختصاص این قبیل اراضی برای پرورش آبزیان و یاکشت مرتع می‌تواند گزینه مطلوبی تلقی گردد.
- برای خاک‌های با هدایت هیدرولیکی متوسط، تقریباً سریع و سریع و عمق لایه محدود کننده ۰/۵≤ متر از سطح خاک نیز امکان ایجاد هر نوع سامانه زهکشی زیرزمینی متعارف عملی نمی‌باشد. لیکن بدلیل مطلوب بودن هدایت هیدرولیکی این قبیل اراضی در صورت اجرای عملیات زیر خاک کنی می‌توان از این نوع خاک‌ها برای یکبار کشت در سال استفاده نمود.
- در مورد خاک‌های خیلی سنگین و سنگین که عمق لایه محدود کننده آنها به ترتیب ۱/۰ ≤ ، ۱/۵ ≤ و ۲/۰ ≤ متر از سطح خاک مزرعه باشد، احداث مجاری زهکشی (حفره‌های زهکشی زیرزمینی بدون لوله) به فواصل ۱۰-۵ متر می‌تواند راهکاری مناسب و کم هزینه در جهت تعدیل مشکلات زهکشی داخلی محسوب گردد.
- برای خاک‌های سنگین، تقریباً سنگین، متوسط، تقریباً سبک و سبک بافت که عمق لایه محدود کننده آنهابه ترتیب ۱/۵ ≤ و ۲/۰ ≤ متر از سطح خاک مزرعه و جهت خاک‌های تقریباً سنگین، متوسط، تقریباً سبک و سبک برابر ۱/۰≤ ، ۱/۵≤ و ۲/۰≤ متر باشد، تعبیه سامانه زهکشی زیرزمینی به فواصل حداقل ۱۵ و حداکثر ۶۰ متر راهکاری متعارف و مطلوب بشمار می‌رود. لازم به تذکر است که در محل اتصال زهکش‌های زیرزمینی به زهکش‌های جمع کننده (روباز و یا زیرزمینی) حسب ضرورت بایستی نسبت به تعبیه یک عدد چاهک زهکشی کنترل شده اقدام گردد. بدلیل کوتاه بودن طول خطوط لوله‌های زهکشی زیرزمینی ضرورتی در تغییر قطر لوله‌های زهکشی (بصورت تلسکوپی) وجود نخواهد داشت.
- برای خاک‌های تقریباً سبک، سبک و خیلی سبک بافت که ضرایب هدایت هیدرولیکی آن در محدوده‌های تقریباً سریع و سریع و عمق قرار گرفتن لایه محدود کننده آنها به ترتیب ۲/۰ ≤ ، ۱/۵ ≤ و ۲/۰ ≤ متر می‌باشد، ضرورتی به تعبیه سامانه‌های زهکشی زیرزمینی وجود نخواهد داشت.

پیشنهاد و توصیه نهایی: تغییر وضعیت فیزیکی و هیدرولیکی اراضی شالیزاری "سنتی" در گرو اجرای برنامه‌های تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری است. بنابراین بهتر آنست که در حالت‌هایی که ضرورت تعبیه سامانه زهکشی زیرزمینی مسجل می‌گردد، برای هر قطعه زراعی حداقل یک خط زهکش زیرزمینی با ویژگی‌های بیان شده قبلی، برای اجرا در نظر گرفته شود. تنها در این شرایط است که امکان اعمال مدیریت آبیاری و زهکشی برای

هر قطعه زراعی بصورت مستقل فراهم خواهد شد. تجربیات موفق بعضی کشورهای آسیای جنوب شرقی (از جمله کشور ژاپن) مؤید این توصیه و پیشنهاد می‌باشد.

منابع مورد استفاده:

١- برآورد آب مورد نیاز گیاهان عمده زراعی و باغی کشور، جلد اول (گیاهان زراعی)، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، وزارت کشاورزی (١٣٧٦)، نشر کشاورزی.

٢- پذیرا، ابراهیم و حمید سیادت (١٣٥٦): مدیریت آب در شالیزارها، مؤسسه خاکشناسی و حاصلخیزی خاک، شماره ٥٢٤، وزارت کشاورزی و عمران روستایی- تهران.

٣- پیش‌نویس، ضوابط و مبانی طراحی تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری، جلد سوم، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت جهاد کشاورزی (١٣٨٦)- تهران.

٤- ضوابط طراحی و تعیین فاصله و عمق زهکش‌های زیرزمینی، نشریه شماره ٣١٩، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، سازمان مدیریت منابع آب ایران، وزارت نیرو (١٣٨٤)- تهران.

٥- کولائیان، نجمه (١٣٨٦): بررسیهای زهکشی، اصلاح و بهسازی خاک و اراضی شالیزاری (مطالعه موردی استان مازندران)، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته خاکشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی- تهران.

٦- مبانی و ضوابط طراحی تجهیز و نوسازی اراضی خشکه‌زاری (آبیاری ثقلی)، جلد سوم زهکشی، نشریه شماره ٣-٣٤٦، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت جهاد کشاورزی (١٣٨٥)- تهران.

7- CIGR, Handbook of Agricultural Engineering (1999): Vol. 1, Land and Water Engineering, ASAE.

8- Drainage Manual (1978): A, Water Resources Technical Publication, U.S, Dept of Interior, Bureau of Reclamation.

9- Journal of Irrigation Engineering and Rural Planing (1989): Japanese Irrigation Technology of Today. No. 16, JSIDRE.

10-Nakagawa. S. et al (1983): Advanced Rice Cultivation, Irrigation and Drainage Technology in Japan. Fuji Marketing Research Co. Ltd.

11-National Engineering Handbook (NEH), (1971): Soil Conservation Service,

Section 16, Drainage of Agricultural Land. U.S. Dept of Agriculture, Washington. D.C.

12-Ogino, Y and Kazuo Murashima (1992): Planning and Design of Subsurface Drainage for Paddies in Japan, ICID CIID, IWASRI, Lahore. Pakistan.

13-Planning and Design Criteria for Land Improvement Projects (1979): Subsurface Drainage, Ministry of Agriculture, Forestry, and Fisheries. The Japanese Society of Irrigation, Drainage, and Reclamation Engineering.

14-Ritzema. H.P (Editor in chief) (1994): Drainage Principles and Application, ILRI Publication No. 16, 2 th Ed.

15-Schwab, G.O, Fangmeier, D.D et, al (1993): Soil and Water Conservation Engineering, 4th Ed, John Wiley & Sons, Inc.

16-Skaggs, R.W and J. van Schilfgaarde (Editors) (1999): Agricultural Drainage, ASA, Monograph, No. 38.

17-van der Molen, W. H, Martinez Beltran, j and W.j. Ochs (2007): Guidelines and Computer Programs for the Planning and Design of Land Drainage Systems, Irrigation and Drainage Paper, No. 62, FAO, Rome.

18-Water Management (Drainage), Chapter 14 (2001): Part 650 Engineering Field Handbook, NEH, NRCS, U.S. Dept of Agriculture, U.S.A.

19-Yamazaki, F. (Translated by M. Mizutani, et. al.), (1988): Paddy Field Engineering, Asian Institute of Technology, Thailand.

20-Yukawa, K.and Y, Inoue (1979): Irrigation Water Management, No.12, UIATC, JICA.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

مدیریت آبیاری و زهکشی سطحی در اراضی شالیزاری

محمدرضا یزدانی[۱]، مسعود پارسی‌نژاد[۲]

چکیده

برنج بعد از گندم دومین غله مهم در کشور محسوب می‌شود. افزایش مصرف سرانه برنج در ایران در دهه‌های اخیر و کاهش عرضه برنج در بازار جهانی، حرکت در جهت تولید بیشتر برنج در ایران را توجیه پذیر می‌نماید. براین اساس فعالیت‌های علمی و تحقیقاتی در زمینه آبیاری برنج می‌تواند ضمن کمک به مصرف صحیح آب در کشور ضامن تداوم و افزایش تولید این غله راهبردی باشد. در سطح بین‌المللی تحقیقات آبیاری برنج در دو مسیر *تغییر روش‌های زراعی* برای کاهش مصرف آب و توسعه آبیاری نوبتی گسترش چشمگیر یافته است. معرفی کشت برنج به صورت هوازی (کشت همانند گندم) و استفاده از متد کشت ISR، از جمله تلاش‌های بعمل آمده به منظور کاهش مصرف آب بر اساس تغییر روش کشت می‌باشد. توسعه آبیاری تناوبی در سطح مزرعه و گسترش آن در سطح شبکه وحوزه، تغییر در روش‌های زراعی تحت شرایط آبیاری نوبتی شامل مدیریت تغذیه گیاه بخصوص نیتروژن و... ازجمله عرصه‌های مهم تحقیقات در زمینه آبیاری نوبتی در اراضی شالیزاری در کشورهای دیگر می‌باشد. در ایران نیز مطالعات مختلفی در زمینه آبیاری برنج بخصوص در زمینه آبیاری متناوب بعمل آمده است.

در زمینه زهکشی سنگینی بافت خاک، ضریب آبگذری و نفوذ پذیری بسیار پایین، فقدان ساختمان خاک وتخریب تعمدی آن در هنگام آماده سازی زمین، چسبندگی شدید خاک به دلیل وجود مقدار زیادی رس، شیب کم و نزدیک به صفر، وجود سخت کفه یا هاردپن در عمق کم، نامناسب بودن زهکشی طبیعی، نیاز به ایجاد حالت غرقابی در حداقل دوره‌ای از کشت برنج، از مختصات عمومی شالیزارها در ایران و بیشتر

۱- دانشجوی دکترای آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران. smryazdany@yahoo.ca و عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات برنج.

۲- دانشیار گروه آبیاری دانشکده مهندسی آب و خاک دانشگاه تهران. پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج.

نقاط جهان می‌باشند. زهکشی اراضی شالیزاری در شرایطی که قرار باشد در دوره ای از سال گیاه دیگری غیر از شالی کشت شود پیچیده تر خواهد شد (کشت دوم) زیرا شرایط رطوبتی مورد نیاز شالی با سایر گیاهان فرق اساسی دارد. در این شرایط باید ضمن رعایت الزامات زهکشی برای شالیزارهایی که فقط شالی در آنها کشت می‌شود، اهداف کشت دوم نیزباید رعایت گردد. شرایط فوق الذکر زهکشی زیر زمینی را به دلیل فاصله کم و عمق کم بسیارگران خواهد کرد به طوریکه گزینش زهکشی سطحی را در کوتاه مدت توجیه پذیر می‌نماید. اما زهکشی سطحی نیز خود الزاماتی نظیر لزوم رعایت حد زهکشی (که می‌تواند موجب ترک و سیمانی شدن خاک گردد)، موقتی بودن انهار جمع کننده و لزوم تخریب آنها در زمان کشت شالی، عدم تخریب سخت کفه یا هاردپن (برای جلوگیری از ازدیاد نفوذ عمقی در هنگام کشت برنج)، وجود امکان تخلیه آب خروجی از مزرعه در زهکش‌های بزرگتر به دلیل کم بودن شیب اراضی و... دارد.

مقدمه:

برنج بعد از گندم دومین غله مهم در کشور محسوب می‌شود. ویژگی برنج نسبت به گندم مربوط به مصرف عمده برنج تولید شده، درخود کشورهای تولید کننده میباشد. بطوریکه طبق آمار سازمان جهانی خواروبار کشاورزی فقط حدود ٥ درصد از برنج تولید شده در بازار جهانی عرضه می‌گردد در حالی که این مقدار برای گندم حدود ٤٠ درصد می‌باشد. به این ترتیب با توجه به افزایش شدید جمعیت در کشورهای چین و هند که بزرگترین مصرف کننده برنج در دنیا هستند، می‌توان براحتی پیش بینی کرد که در سال‌های آینده با وجود داشتن پول نیز نتوانیم برنجی برای واردات پیدا نماییم. بنا براین با توجه به افزایش مصرف برنج در ایران در دهه‌های اخیر، مزیت نسبی آن نسبت به سایر محصولات زراعی و باغی به شدت افزایش می‌یابدوآنرا به غله ای راهبردی تبدیل می‌نماید. برای مواجهه با این شرایط می‌باید در مرحله اول نسبت به حفظ پایداری تولید برنج و در مرحله بعد نسبت به فراهم کردن شرایط لازم برای رسیدن به خودکفایی برنامه ریزی نمود.

نگاهی به مناطق برنج کاری در کشور نشان می‌دهد که بیش از دو سوم اراضی شالیزاری در شمال کشور قرار دارد. در این مناطق از دیر باز وجود خاک‌های سنگین و رودخانه‌های پر آب موجب رواج شالیکاری گردیده بود. اما در سال‌های اخیر به دلیل تشدید پدیده کم آبی، افزایش نیاز به آب شرب به دلیل افزایش جمعیت، نیاز فزاینده بخش صنعت و برداشت از سرشاخه‌های رودخانه‌هایی که به دریای خزر می‌ریزند تأمین آب برای اراضی شالیزاری را با مشکل جدی مواجه ساخته است.

در این شرایط برای حفظ پایداری تولید برنج، ضمن تلاش برای تأمین حقابه مناسب با توجه به مزیت نسبی آن باید با اتخاذ روش‌های مناسب برای مدیریت آب در سطح مزرعه، راندمان کاربرد آب را افزایش داد. از طرف دیگر زهکشی اراضی شالیزاری به منظور مقابله با مواد سمی تولید شده در اثر شرایط احیایی خاک (مسمومیت آهن، کمبود روی و...)، آماده سازی زمین برای برداشت، جذب بهتر مواد غذایی

نظیر پتاسیم، جلوگیری از استغراق بیش از حد در هنگام بارندگی‌های شدید و توسعه کشت دوم گیاهان دیگر بعد از برداشت برنج می‌تواند در حفظ پایداری شالیزارهای شمال کشور موثر باشد.

مدیریت آبیاری:

تحقیقات جهانی در مورد آبیاری برنج بیشتر در سه زمینه مدیریت آبیاری متناوب، متد **SRI**[1] و برنج هوازی قابل دسته‌بندی می‌باشند (۲۲).

روش SRI:

این روش برای بار اول در جزیره ماداگاسکار در آفریقا معرفی و توسعه یافت و پس از آ« در سایر کشورها نظیر هند و اندونزی و سایر کشورهای برنج خیز مورد آزمایش قرار گرفت. در این روش مجموعه ای از عملیات زراعی شامل سن نشا و نحوه نشاکاری، روش وتعداد وجین، روش آبیاری و تغذیه گیاه در کشت برنج استفاده می‌شود. بطوریکه به ادعای معرفی‌کنندگان این روش عملکرد تا دو برابر و میزان آب مصرفی تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

مهمترین توصیه‌های روش **SRI** شامل موارد زیر می‌باشد:

- نشا کاری با نشاهای جوان با سن ۱۲-۸ روز و حد اکثر ۱۵ روز (در ایران سن نشا حدود ۳۰ روز می‌باشد).
- در هر کپه یک نشا با فاصله ۲۵* ۲۵ سانتیمتر و قابل افزایش تا ۵۰*۵۰ سانتیمتر.
- کوتاه کردن فاصله برداشت نشا از خزانه تا زمین اصلی به منظور حداقل رساندن اثر منفی برداشت از خزانه در ریشه‌ها.
- عمق نشاکاری ۱-۲ سانتیمتر.
- عمودی قرار دادن ریشه‌ها به منظور جلوگیری از خسارت به ریشه‌ها.
- وجین موثر با استفاده از کج بیل یا وجین کن دستی (Cono weeder)معرفی شده توسط موسسه جهانی تحقیقات برنج، به دفعات متعدد پس از ۱۰ تا ۱۲ روز بعد از نشاکاری و بافاصله ۱۰ روزه (حداقل ۳ تا ٤ وجین).
- مدیریت کودی مناسب بر اساس نتایج تحقیقات و آزمون خاک و هم چنین استفاده از کمپوست و کود سبز.
- آبیاری غیر غرقابی ویا متناوب

1- System Of Rice Intensification

- در آبیاری غیر غرقابی خاک در حالت مرطوب ولی غیر اشباع نگهداشته می‌شود. فواصل زمانی آبیاری ٦-۲ روز بوده و مبنای شروع آبیاری ظهور ترک سطحی می‌باشد. در انتها پش از ظهور خوشه، لایه نازکی از آب به عمق ۲-۱ سانتیمتر روی خاک قرار داده می‌شود.
- در آبیاری متناوب آبیاری بافاصله زمانی مشخص (در ماداگاسکار ٥-٤ روز) در طول دوره رشد تا عمق مشخص انجام می‌گیرد.

امکان استفاده از روش SRI در ایران:

استفاده از این روش در ایران به دلیل داشتن روش‌های متفاوت کشت و زرع که از دیرباز اجرا می‌نمایند، نیازمند بررسی و تحقیق همه جانبه می‌باشد. دستورالعملهای مربوط به روش‌های کشت و داشت می‌باید توسط محققین به زراعی تهیه گردد.محققین به نژادی باید ارقام مناسب را با همکاری محققین آبیاری معرفی نمایند. اما بطور قطع مشکلات زیر در کاربرد این روش در ایران خود را نشان خواهد داد.

- وجود سرمای دیررس بهاره می‌تواند برای نشاهای جوان به شدت زیان آور باشد.
- نشای زودهنگام منجر به اضافه شدن طول دوره آبیاری به مدت ۱٥ روز می‌گردد که خود می‌توتند موجب افزایش آب آبیاری گردد.
- ازدیاد دفعات وجین از یک تا دو دوره به چهار و بیشتر می‌تواند به طور معنی داری هزینه تولید برنج را افزایش دهد. این در حالی است که در حال حاضر این هزینه در ایران فوق‌العاده بالا می‌باشد.
- انجام توصیه کودی دقیق بر اساس آزمون خاک نیازمند هزینه و ایجاد امکانات و توانایی‌های فنی خواهد بود.
- انجام آبیاری به روش غیر غرقابی و حتی تناوبی نیازمند سازماندهی و ایجاد تشکل‌های قوی و مطمئن برای توزیع آب می‌باشد، تا کشاورزانی که از این روش تبعیت می‌کنند در هنگامی که تصمیم به آبیاری می‌گیرند بلافاصله امکان آبیاری داشته باشند. در حالیکه در نظام فعلی آبیاری در مناطق برنجکاری بسختی می‌توان آب را با این دقت توزیع نمود. عدم تکمیل شبکه‌های آبیاری و ضعف سازمان‌های توزیع آب از نظر امکانات فنی و پرسنلی امکان استفاده از این روش را مشکل می‌نماید. در آن دسته از اراضی که توسط چاه و یا استخر آبیاری می‌شوند به دلیل کنترل زارع بر آب امکان بیشتری برای استفاده از این روش وجود دارد.

بطور خلاصه در صورتیکه بررسی و تحقیق مکفی برای سازگاری این روش با شرایط کشور صورت گیرد می‌توان آن را با آبیاری متناوب تلفیق نمود. و در طولانی مدت و حتی میان مدت در بعضی از نقاط کشور از آن استفاده نمود.

برنج هوازی[1]:

به طور خلاصه کشت برنج در شرایط رطوبتی مابین حالت اشباع و رطوبت مزرعه تحت عنوان برنج هوازی (با مکش رطوبتی متوسط kPa 10-0 و حد اکثر kPa 40) قابل تعریف می‌باشد. این روش در سال‌های اخیر توسط محققین موسسه جهانی تحقیقات برنج (IRRI) معرفی و به طور گسترده مورد تحقیق قرار گرفته است. عدم نیاز به گلخرابی (paddeling) وعدم غرقابی از اختصاصات این روش می‌باشد. بومن در یک آزمایش در موسسه جهانی تحقیقات برنج در فیلیپین نشان داد که در این روش آب مورد نیاز جهت گلخرابی، نفوذ عمقی و جانبی، تبخیر و تعرق به ترتیب۱۹۰، ۳۰۰-۲۵۰، ۸۰ و ۲۵ میلی متر کمتر از روش غرقابی است. همچنین علیرغم کاهش عملکرد به میزان حدود یک سوم تن در هکتار، ازدیاد قابل توجه بهره‌وری آب در این روش در مقایسه با روش غرقابی به میزان ۳۲٪ تا ٪۸۸ ملاحظه شد. (۲٤) اکثر تحقیقات بعمل آمده در این زمینه حاکی از کمتر بودن عملکرد برنج در مقایسه با روش غرقاب می‌باشد. هر چند برخی تحقیقات تکمیلی حاکی از برابری مقدار عملکرد با روش غرقابی می‌باشند (۲۳).در عین حال کاهش عملکرد در ارقامی که مربوط به شرایط غرقابی بوده‌اند در مقایسه با ارقام آپلند و ارقام متناسب با شرایط هوازی به دلیل پوکی دانه‌ها و وزن هزار دانه کمتر، مشاهده شده است. بنابراین تحقیقات به نژادی به منظور معرفی ارقام مناسب که کاهش عملکرد کمتری نسبت به روش غرقابی داشته باشند از الزامات توسعه استفاده از این روش می‌باشد.

ترکیب این روش با روش غرقابی یعنی استفاده از این روش در بعضی از مراحل رشد می‌تواند در بالا بردن راندمان کاربرد آب موثر باشد. نیونهاوس و همکاران (۲۵) با تقسیم مراحل رشد برنج را به سه دوره ابتدایی (از نشا تا ظهور خوشه)، میانی (از ظهور خوشه تا انتهای گلدهی) و نهایی (انتهای گلدهی تا رسیدن کامل) ترکیب روش آبیاری غرقابی با روش غیر غرقابی در دوره‌های مختلف را به همراه کاربرد این روش‌ها به تنهایی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد و راندمان تولید در هر دو نوع خاک از تیمارهای ترکیبی بدست آمده است. عملکرد بالاتر ناشی از وزن هزار دانه و تعداد بیشتر دانه‌ها در هر خوشه حاصل گردیده بود.

امکان استفاده از روش کشت برنج هوازی در ایران:

براساس یافته‌های منابع فوق‌الذکر این روش ارزش آن را دارد که در موسسات و مراکز علمی ایران مورد بررسی و تحقیق دقیق قرار گیرد. دستورالعمل‌های به زراعی برای کاربرد این روش شامل چگونگی تهیه زمین و ماشین‌آلات مناسب، بذرکاری به روش مرطوب یا خشکه‌کاری، کنترل علف‌های هرز و تغذیه گیاهی و مهمتر از همه روش آبیاری باید بر اساس آزمایشات تحقیقی و ترویجی تهیه گردد. همچنین باید تحقیقات به نژادی جهت معرفی ارقام سازگار با این روش به طور موازی آغاز گردد. در این صورت با توجه به

1- Aerobic Rice

گسترش حتمی پدیده کم آبی می‌توان امیدوار بود که این روش در میان مدت و طولانی مدت بتواند در کشور مورد استفاده بخشی از کشاورزان قرار گیرد.

از آنجا که اجرای این روش مستلزم تغییرات وسیع در روش‌های مرسوم کشت شالی در کشور می‌باشد باید جنبه‌های مختلف آن بخصوص جنبه فرهنگی و اقتصادی نیز مورد مطالعه دقیق قرار گیرد. در هر حال در شرایط حاضر به دلیل کم بودن درآمد شالیکاران که خود ناشی از پایین بودن سطح مالکیت زمین می‌باشد، کاهش عملکرد به سختی مورد پذیرش زارعین قرار می‌گیرد. هرچند که اجرای این روش با حذف مرحله گلخرابی و هزینه آبیاری موجب کاهش هزینه می‌شود.

آبیاری تناوبی[1]:

در این روش پس از تأمین آب در پای گیاه به میزان مشخص، آبیاری قطع شده و پس از فاصله زمانی مشخص اقدام به آبیاری مجدد می‌گردد (لفظ تناوب در این روش در مقابل حالت غرقاب دائم بکار برده می‌شود). به بیان دیگر در این روش مزرعه پس از هر آبیاری حالت غرقاب داشته و پس از مدتی آب از سطح زمین ناپدید می‌شود. مطالعات متعدد در ایران وجهان نشان داده است که این روش در کاهش مصرف آب در اراضی شالیزاری کارایی مناسبی دارد. (۳ و ٤ و ۱۳ و ۱۲ و۱۰ و ۱۱)

مقدار آبی که در هر نوبت تأمین می‌شود و همچنین فاصله زمانی بین دو آبیاری تابع عوامل مختلفی نظیر شرایط اقلیمی، نوع و بافت خاک، مقدار آب موجود و درجه کم آبی، مرحله رشد گیاه، وضعیت تسطیح، عادات زارعین، توانایی سیستم در تأمین آب در زمان مقرر، نوع رقم، مسائل زیست محیطی و... دیگر می‌باشد، بطوریکه هر کدام از این عوامل می‌تواند در موفقیت و بالا بردن راندمان این روش تاثیر تعیین‌کننده داشته باشند.

استفاده از روش آبیاری متناوب در ایران:

بدیهی است که مقایسه این روش با سایر روش‌های مدیریت آب در اراضی شالیزاری در زمره فعالیت‌های تحقیقاتی و مطالعاتی می‌باشد اما بطور اصولی به دلایل زیر برتری‌های زیادی برای کاربرد این روش در ایران وجود دارد که آن را به گزینه اول و بهترین جایگزین روش آبیاری فعلی تبدیل می‌کند. این برتری‌ها به طور اجمال شامل موارد زیر هستند.

- فعالیت‌های تحقیقاتی در زمینه بهترین فاصله زمانی آبیاری در ایران انجام گرفته است بطوریکه فواصل زمانی ٥ تا ۸ روز برای شمال کشور و فاصله زمانی ۱ و ۲ روزه برای مناطق مرکزی و جنوبی پیشنهاد گردیده است (۳ و ۱۱ و ۱۳).

1- Intermittent Irrigation

- تجربیات زیادی در زمینه نوبت بندی توزیع آب در سطح شبکه آبیاری بخصوص در استانهای شمالی وجود دارد بطوریکه مثلا در شبکه آبیاری سپیدرود از سال ۱۳۷۸ نوبت بندی در سطح شبکه آغاز گردیده و بطور مداوم در سال‌های بعد بهبود پیدا نموده است. این تجربیات می‌تواند به عنوان برتری تعیین کننده برای این روش قلمداد شود.
- در تمامی تحقیقاتی که در سطح بین‌المللی و داخلی انجام گرفته این روش بدون کاهش عملکرد از کاهش چشمگیری در مقدار آب مصرفی برخوردار بوده است.عدم کاهش عملکرد و حتی افزایش آن به مقدار چند درصد در بعضی از شرایط موجب عدم کاهش درآمد کشاورز خواهد شد.
- این روش می‌تواند برای تمامی ارقام و تمامی شرایط کشت، مورد استفاده قرار گیرد. اجرای این روش مستلزم تغیرات چشمگیر در روش‌های زراعی نبوده و طبعاً با مقاومت کمتری از سوی زارعین روبرو خواهد شد.
- عامل زمان که مبنای شروع آبیاری در این روش می‌باشد به راحتی می‌تواند بین زارعین و توزیع‌کنندگان آب مورد تفاهم واقع شود. در حالیکه ایجاد تفاهم بین این دو گروه در سایر روش‌ها بسیار مشکل‌تر می‌باشد.
- ایجاد عدالت در توزیع آب در مواقع بحرانی در این روش به راحتی با افزایش نسبی فاصله زمانی یا حجم عمق آب تحویلی در هر دوره قابل اجرا می‌باشد.
- اجرای این روش در تمامی شرایط از جمله مواقعی که برنج هوازی یا متد SRI استفاده می‌شود، نیز امکان پذیر می‌باشد.

تجربیات علمی آبیاری برنج در ایران:

فعالیت‌های علمی و تحقیقاتی در زمینه آبیاری برنج در ایران از اواخر دهه چهل آغاز گردید. این تحقیقات که توسط محققین مختلف در سال‌های متمادی انجام گرفته جنبه‌های مختلف آبیاری برنج را مورد توجه قرار داده است. ذیلاً به بعضی از نتایج بدست آمده اشاره می‌گردد.

در یک تحقیق سه ساله مقدار تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی دورقم محلی و اصلاح شده برنج، بوسیله لایسیمتر به همراه تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن) و ضریب گیاهی ضریب گیاهی طی سه سال متوالی اندازه‌گیری گردید. جدول (۱). لایسیمترها با ابعاد یک ۱*۱ متر وبه عمق یک متر در وسط شالیزار نصب گردیده بودند (٤).

تحقیق مورد نظر مبنای مقایسه فرمول‌های تجربی قرار گرفت بطوریکه از بین روش‌های تجربی مختلف، روش سامانی – هارگریوز بهترین همبستگی را با داده‌های حاصل از لایسیمتر نشان داد (جدول ۲) (٥).

جدول (۱) مقادیر تبخیر و تعرق و ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده بوسیله لایسیمتر (رضوی پور و همکاران۱۳۷۸)

پارامتر	۱۳۷۳	۱۳۷٤	۱۳۷۵
تبخیر از تشتک کلاس A	۷٤۷,۷	٦۲۹,٤	٦۳۰,۹
تبخیر و تعرق گیاه مرجع (چمن)	٤۸٦,۱	۵۳۱,۵	٤۹۰,٦
تبخیر و تعرق رقم بینام	۵۲۷,٤	۵۱۸,۹	٤۷٤,٦
تبخیر و تعرق رقم خزر	۵٤۰,۳	۵۳٦,٦	۵۲۰,٦
ضریب گیاهی بینام	۱,۱۵	۱,۰۸	۱,۱۱
ضریب گیاهی خزر	۱,۱۹	۱,۱۲	۱,۱۰
ضریب تشتک	۰,۷٦	۰,۷٦	۰,۷۹

جدول (۲) –نتایج مقایسه برخی روش‌های تجربی با لایسیمتر (روزمه ۱۳۸٤)

فرمول تجربی	پنمن مانتیس	بلانی کریدل	تشتک تبخیر	هارگریوز سامانی
انحراف معیار	۱,٤۲	۱,۲٤	۱,۱۵	۱
ضریب همبستگی	۰,۳۳	۰,۱	۰,۵۲	۰,٦٤

نفوذ عمقی از اجزای اصلی معادله بیلان آب در اراضی شالیزاری می‌باشد. اندازه‌گیری این پارامتر در اراضی شالیزاری به دلیل کم بودن مقدارآن در خاک‌های سنگین به وسیله رینگ در فاصله زمانی بیست و چهار ساعت مشکل و دارای خطای زیاد می‌باشد (جدول۳). در روش سریع (Quick method) مقدار آب نفوذ یافته در یک رینگ سر بسته که از سمت باز خود در داخل خاک فرو رفته است، بوسیله یک لوله باریک که به محفظه بین سطح خاک ورینگ سربسته متصل است، به نسبت زیاد بزرگنمایی می‌گردد تا قرائت مقادیر کوچک امکانپذیر باشد.

جدول۳ – مقادیر نفوذ عمقی در خاک‌های شالیزاری (رضوی پور و همکاران)

بافت خاک	رسی	رسی سیلتی	سیلتی کلی لوم	سیلتی لوم
نفوذعمقی (mm/day)	۱,۱	۲,۱	۱,۵	۷,۷

در عین حال اندازه‌گیری نفوذ عمقی در طول فصل با استفاده از رینگ‌های ته باز و ته بسته می‌تواند مقدار و تغییرات نفوذ عمقی را در طی دوره رشد نشان دهد.در یک تحقیق در سال جاری مقادیر نفوذ عمقی در طی دوره رشد در سه منطقه از گیلان به وسیله رینگ‌های فوق‌الذکر اندازه‌گیری شد. این مقادیر به ترتیب ۰,٦۷، ۰,٦۵ و ۰,۳۲ میلی متر در روز گزارش شد. (۱٤)

راندمان کاربرد آب در اراضی شالیزاری استان گیلان در ۱۳ نقطه مختلف بوسیله فلوم از طریق اندازه‌گیری مقادیر ورودی و خروجی انجام گرفت. با توجه به اینکه آب خروجی از مزرعه دوباره در کرت‌ها و اراضی پایین دست مورد استفاده قرار می‌گرفت، فرض شد که در روش آبیاری کرت به کرت که شیوه مرسوم آبیاری اراضی شالیزاری کشور است کرت‌های بالادست نقش کانال آبرسانی برای کرت‌های پایین دست را ایفا می‌نمایند به همین دلیل می‌توان درصدی از آب ورودی را سهم اراضی پایین دست دانست. بر این اساس نتایج زیر بدست آمد (۱).

جدول ٤- مقادیر راندمان در خاک‌های مختلف (پارسی‌نژاد و همکاران)

کلاس نفوذ خاک	نفوذ خیلی کم	نفوذ کم	نفوذ متوسط	نفوذ زیاد
راندمان بدون استفاده از خروجی	٤١,١	٣٥,٨	٣١,٤	٢٨,٣
راندمان با استفاده از خروجی (٨٠٪)	٥٨,٨	٥٠,٨	٤٣,٤	٣٨,٤

مقایسه دستورالعمل‌های آبیاری برنج تحت عنوان رژیم‌های آبیاری، که با هدف دستیابی به بیشترین عملکرد بدون محدودیت آب طراحی گردیده‌اند، به همراه روش سنتی و روش آبیاری غیر غرقابی (آبیاری روزانه به مقدار لازم) نشان داد که این روش‌ها با افزایش مصرف آب در حدود ۵۰ درصد نسبت به روش غیر غرقابی، اثر معنی‌داری در افزایش عملکرد نداشته‌اند. بالاتر بودن راندمان مصرف آب در تیمار بدون غرقابی نشان داد که در شرایط کنترل شده در ایستگاه تحقیقاتی می‌توان با ۵۰ درصد آب کمتر عملکرد معمول را بدست آورد. اما اجرایی کردن این روش در سطح زارع نیازمند تحقیق و برنامه‌ریزی بیشتر خواهد بود زیرا محدودیت‌های سیستم توزیع آب به همراه افزایش هزینه آبیاری و هزینه مبارزه با علف‌های هرز (که به طور معنی داری در این روش افزایش می‌یابد) از موانع عمده ترویج این روش خواهد بود. (۱۵)

استفاده سیستم آبیاری بارانی در کشت مستقیم و نشایی دو رقم برنج نشان داد که استفاده از سیستم آبیاری بارانی با حدود ٣٤ در صد کاهش عملکرد موجب کم شدن مصرف آب به میزان بیش از۳۲ درصد خواهد شد (جدول ٤).

جدول ٤- نتایج مقایسه روش آبیاری بارانی با روش غرقابی در دو روش کشت (یزدانی وهمکاران)

عملکرد (Kg)						مصرف آب (M^3)	
روش آبیاری		رقم		روش کشت			
بارانی	غرقابی	خزر	IR-342	مستقیم	نشایی	بارانی	غرقابی
٢٨٤٤	٤١٧٠	٣٤٢٧	٣٥١٦	٣٣٦٧	٣٥٧٦	٢٧٧	٤١٨

کاهش عملکرد و هزینه بالای نصب سیستم آبیاری در شرایط خاص خاک‌های شالیزاری (از نظر سنگینی بافت خاک و نفوذ کم) و همچنین گسترش برخی بیماری‌ها (نظیر بیماری بلاست) استفاده از این روش را در اولویت قرار نمی‌دهد.

در سال‌های اخیر به منظور بالا بردن راندمان کاربرد آب به همراه اهداف دیگر، عملیات تجهیز و نوسازی اراضی شالیزاری در کشور گسترش چشمگیر یافته است (حدود ۱۰۰ هزار هکتار).به منظور ارزیابی راندمان کاربرد آب، مقدار آن در مقایسه با اراضی سنتی با استفاده از فلوم و اندازه‌گیری مقادیر ورودی و خروجی آب به کرت‌ها شالیزاری محاسبه شد. محاسبات در دو حالت استفاده و عدم استفاده از آب خروجی انجام گرفت. لازم به ذکر است که در اراضی تجهیز شده به دلیل احداث زهکش در انتهای هر کرت آب خروجی مستقیما به داخل آن می‌ریزد بنا براین می‌توان آن را جزو تلفات به حساب آورد.هر چند که در شرایط کم آبی این آب نیز احتمالا در پایین دست مورد استفاده قرار می‌گیرد اما این آب از نظر کیفی به دلیل خروج از یک کرت بزرگ تجهیز شده و حل شدن سم و کود این کرت چندان مطلوب نمی‌باشد (جدول ۵) (۱).

جدول ۵- مقایسه راندمان کاربرد در اراضی سنتی و تجهیز شده (پارسی‌نژاد و همکاران ۱۳۸۲)

	اراضی سنتی	اراضی تجهیز شده
راندمان بدون استفاده از خروجی	۲٤	٦۳
راندمان با استفاده از خروجی (۸۰ درصد)	۵۰	۵۲

بررسی میدانی و نقشه‌برداری از طرح‌های تجهیز و نوسازی اجرا شده نشان داد که مهمترین دلایل پایین بودن راندمان کاربرد در اراضی تجهیز شده شامل موارد زیر می‌باشد (۱۸).

- عدم رعایت نسبت ارتفاعی کف کانال آبیاری، کف کرت و کف کانال زهکشی در بعضی از موارد (این عیب می‌تواند ناشی از اشکال در طراحی و یا اجرا باشد)
- عدم ارائه برنامه آبیاری به عنوان جزئی از هر طرح تجهیز (در این حالت کشاورزان شرایط جدید آبیاری را نمی‌دانند)
- ناهماهنگی بین دستگاه‌های تأمین کننده آب و دستگاه مجری طرح تجهیز و نوسازی به طوریکه کانال‌های تأمین آب در سطح مزرعه با کانال‌های درجه ۱و ۲ سازگار نیستند.
- تسطیح نامناسب کرت‌ها بطوریکه در موارد قابل ملاحظه ای شیب معکوس و یا شیب غیر یکنواخت مشاهده شد.

نتایج نظرسنجی از کشاورزان نشان داد که ٤٤ درصد از کشاورزان در سال اول پس از اجرای طرح، در مورد تأمین آب دچار مشکل بوده اند اما از سال سوم به بعد این مقدار به ۲۹ درصد رسیده است. کاهش

۱۵ درصدی مشکلات طی سه سال نشان می‌دهد که کشاورزان با تلاش شخصی توانسته‌اند بخشی از مشکلات را حل نمایند اما در ۲۹ درصد موارد مشکل همچنان به حال خود باقی مانده است.
۷٤ درصد کشاورزان در سال اول و ۳۷ درصد آنان حتی پس از سال سوم در مورد مدیریت آبیاری در داخل مزرعه دچار مشکل می‌باشند. این به معنی تسطیح و شیب نامناسب و همچنین عدم رعایت نسبت رقومی کانال‌های آبیاری و زهکشی و کف کرت‌ها می‌باشد و امکانات کشاورزان اجازه حل مشکل را به آنان نمی‌دهد.

فواصل زمانی آبیاری:

جدول شماره ٦ نتایج برخی تحقیقات در مورد آبیاری متناوب در ایران را نشان می‌دهد. براساس اعداد این جدول می‌توان نتیجه گرفت که آبیاری متناوب در تمام نقاط کشور قابلیت کاربرد داشته و ضمن نداشتن تفاوت معنی‌دار از نظر عملکرد، مقدار راندمان مصرف آب بالاتری نسبت به روش غرقاب دائم دارد. تفاوت فاصله زمانی بدست آمده در نقاط مختلف ناشی از تفاوت‌های اقلیمی و خاک می‌باشد.

جدول شماره ٦- نتایج برخی مطالعات آبیاری متناوب در ایران (۷ و ۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳)

نام محقق و سال	مکان مطالعه	نتایج
سیادت ۱۳٤۹	رشت	برای ارقام قریب و مهر بهترین فاصله زمانی آبیاری ۵ روز و برای ارقام چمپا و لاین ۳٤۸ بهترین فاصله آبیاری ۸ روز
قائمی (۱۳۵۸)	رشت	برای رقم بینام را برابر ۵ روز با عمق ۵ سانتیمتر
کردزنگنه (۱۳۷۱)	خوزستان	دو روز در میان برای رقم آمل ۳
نحوی ۱۳۷۸)	ر شت	برای رقم خزر فاصله ۵ روزه
رضایی (۱۳۸۲)	رشت	تیمار ۸ روزه بهترین فاصله آبیاری برای رقم هاشمی
گیلانی و آبسالان (۱۳۸۳)	خوزستان	برای سه رقم مختلف آبیاری یک روز در میان

واکنش ارقام به آبیاری تناوبی:

در مورد واکنش ارقام نسبت به فواصل آبیاری در یک آزمایش سه ساله ارقام برنج مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ارقام اصلاح شده دارای عملکرد و بهره‌وری بیشتر در مصرف آب بوده‌اند که به دلیل پر محصول بودن این ارقام امری طبیعی بنظر می‌رسد. کاهش مصرف آب در فواصل ۱۰ و ۱۵ روزه نسبت به ۵ روزه به ترتیب برابر ۳۰ و ۵۳ درصد بوده است. این نتیجه نشان می‌دهد که دوبرابر شده

فاصله آبیاری به معنی نصف شدن مصرف آب نمی‌باشد، زیرا در اثر تغییرات بوجود آمده در اثر تنش در خاک (ترک) و گیاه، مصرف آب بالا تر خواهد رفت و در هر آبیاری باید آب بیشتری به گیاه داده شود. کاهش عملکرد ارقام بیشتر در اثر پوکی دانه‌ها بود و طول خوشه و تعداد دانه در خوشه (سالم و پوک) تفاوت معنی‌دار نداشتند. این نتیجه نشان می‌دهد که اگر بتوانیم در لحظات حساس (عمدتا گلدهی) آب مورد نیاز را به گیاه برسانیم قادر خواهیم بود تا میزان زیادی از خسارت بکاهیم. موضوع مهم مقایسه هر رقم با خودش در فواصل مختلف آبیاری می‌باشد. جدول ۷ رتبه هر رقم را (بر اساس عملکرد نسبی) که با افزایش فاصله آبیاری نسبت به فاصله پنج روزه کسب می‌نماید، نشان می‌دهد. بر اساس این جدول ملاحظه می‌شود که برخی ارقام محلی در فواصل ۱۰ و ۱۵ روزه از انتهای جدول به ردیف‌های بالا تغییر رتبه داده‌اند. این امر نشان می‌دهد که ارقام محلی با توجه به سابقه کشت طولانی در منطقه نسبت به شرایط کم آبی سازگاری خوبی دارند و نسبت به ارقام اصلاح شده کاهش کمتری در عملکرد آنان بروز خواهد نمود. از آنجا که کشاورزان در شرایط کم آبی نیز کشت ارقام محلی را در اولویت قرار می‌دهند استفاده از این جدول می‌تواند مفید باشد (۱۶).

جدول ۷- مقایسه عملکرد نسبی ارقام در فواصل مختلف آبیاری (یزدانی ۱۳۸۵)

رتبه	فواصل آبیاری		
	۵ روزه	۱۰ روزه	۱۵ روزه
۱	بجار	سپیدرود	سپیدرود
۲	۵۰۵	بینام	حسن سرایی
۳	نعمت	دمسیاه	آپلند
٤	آپلند	لاین ۵۰۷	۵۰۵
۵	۵۰٦	آپلند	دمسیاه
٦	۵۰۷	حسن سرایی	۵۰٦
۷	خزر	بجار	خزر
۸	حسنی	۵۰٦	حسنی
۹	سپیدرود	۵۰۵	نعمت
۱۰	بینام	خزر	۵۰۷
۱۱	حسن سرایی	حسنی	بجار
۱۲	دمسیاه	نعمت	بینام

آبیاری تناوبی و ایجاد ترک در خاک:

بررسی واندازه‌گیری‌ها ارتباط آبیاری و ترک‌های ایجاد شده در خاک نشان می‌دهد که در اراضی شالیزاری با کاهش رطوبت خاک از حالت اشباع به مرور ترک‌ها ظاهر می‌گردند و به طور واضح با کاهش

در رطوبت خاک به میزان۱۰ درصد کمتر از حد اشباع، در سطح مزرعه گسترش یافته و قابل مشاهده می‌باشند. این حد از رطوبت را می‌توان حد ترک موئین فرض نمود. ملاحظه شد که تا رطوبت وزنی ٤٥-٤٠ درصد گسترش چندانی در عمق و پهنای ترک بوجود نمی‌آید. از آنجا که حد ظرفیت زراعی خاک مزبور ۳۵ در صد اندازه‌گیری شده بود نتیجه گرفته شد که وقتی رطوبت خاک از حد ظرفیت زراعی کمتر شود با تغییر کمی در میزان رطوبت وزنی خاک، پهنا و عمق ترک افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد. بنا براین یکی از عوامل مهم برای تنظیم فاصله زمانی در آبیاری تناوبی، توجه به وضعیت خاک و میزان رطوبت آن می‌باشد. این امر در آن دسته از اراضی که کنترل آب در اختیار زارع می‌باشد (نظیر مزارعی که از چاه یا آب بندان آب می‌گیرند) به راحتی قابل اجرا می‌باشد. دراین حالت ظهور و گسترش ترک‌های موئین در سطح مزرعه می‌تواند معیار خوبی برای شروع آبیاری بعدی باشد. بدیهی است که ظهور ترک در طول فصل متنایب با عواملی نظیر درجه حرارت و تبخیر و سطح سایه انداز گیاه متفاوت بوده و به همین دلیل فواصل آبیاری نیز متغیر خواهند بود. (۲)

زهکشی در اراضی شالیزاری:

اهداف زهکشی در این اراضی شامل فراهم کردن شرایط برای آماده‌سازی زمین، استقرار گیاه، آماده سازی زمین برای برداشت، مقابله با مواد سمی تولید شده در اثر شرایط احیایی خاک (مسمومیت آهن، کمبود روی و...)، جذب بهتر مواد غذایی، جلوگیری از استغراق بیش از حد در هنگام بارندگی، ***توسعه کشت دوم***، آماده کردن شرایط رطوبتی خاک برای حرکت ماشین آلات در مرحله شخم و برداشت، تهویه خاک، بهبود شرایط فیزیکی خاک، فراهم کردن شرایط برای جوانه‌زنی در کشت مستقیم و... می‌باشد.

بارندگی زیاد در نیمه دوم سال در مناطق شالیکاری، سنگینی بافت خاک، ضریب آبگذری و نفوذپذیری کم، فقدان ساختمان و چسبندگی خاک‌ها، ایجاد گلخرابی به عنوان شخم، ایجاد لایه هاردپن در عمق کم، شیب کم و نامناسب بودن زهکشی طبیعی از مختصات اراضی شالیزاری شمال کشور می‌باشد. در سایر مناطق شالیکاری نیز بجز بارندگی سایر مختصات تقریبا مشابه می‌باشند. بدیهی است که از دیدگاه زهکشی این خصوصیات خاکی موجب کم شدن شدید فاصله زهکش‌ها و افزایش شدید هزینه خواهد گردید. در عین حال اجرای زهکش در شرایط خاک‌های مرطوب و چسبنده بسیار مشکل و هزینه بر خواهدبود. همچنین وجود سخت لایه در عمق کم (حدود ۳۰ سانتی متر) موجب جلو گیری از نفوذ آب به لایه‌های پایین‌تر خواهد شد که طبعاً حرکت آب در پروفیل خاک به سمت زهکش‌ها را با اشکال مواجه خواهد ساخت.

اما مهمترین ویژگی این اراضی را می‌توان نیاز به غرقابی و یا حالت‌های نزدیک به اشباع در دوره کشت برنج برشمرد. به سخن دیگر، در دوره‌ای از سال (بخشی از زمان کشت شالی) خروج آب از سطح زمین و پروفیل خاک مطلوب نمی‌باشد. بنابراین سیستم زهکشی باید بتواند با این وضعیت (که ظاهراً متناقض

است) سازگار باشد. این امر با مد نظر قرار دادن اهداف مختلف زهکشی و نحوه مدیریت زراعی برنج میسر خواهدبود.

انتخاب نوع سیستم زهکشی سطحی یا زیرزمینی با توجه به موارد فوق‌الذکر بستگی به امکانات اقتصادی و فنی دارد. بدین دلیل سیستم‌های زیر زمینی حتی در آن دسته از اراضی که طرح تجهیز و نوسازی در آنها انجام می‌گیرد، تاکنون مورد توجه واقع نشده است. اما زهکشی سطحی به دلیل هزینه پایین‌تر و نیاز به امکانات اجرایی ساده‌تر بخصوص برای مقابله با بارندگی‌های شدید از ابتدا مورد توجه کشاورزان بوده است. بخصوص در طرح‌های تجهیز و نوسازی احداث آن در انتهای کرت‌ها از قسمتهای مهم هر طرح می‌باشد.

الزامات وخصیصه‌های زهکشی سطحی در شالیزار:

- به دلیل نیاز به تسطیح کامل در کرت‌های شالیزاری پشته‌ها و یا نهرهای زهکشی داخل کرت موقتی بوده و در زمان کشت برنج از بین می‌روند.
- در مواقع زیادی از سال به دلیل آبیاری و بارندگی شرایط رطوبتی خاک در حد چسبندگی بیش از حد قرار می‌گیرد به همین دلیل امکان پشته بندی به راحتی وجود نخواهد داشت.
- نهرهای زهکشی نباید منجر به از بین بردن لایه شخم (hard pan) شود.زیرا در هنگام کشت شالی موجب گسترش نفوذ عمقی خواهد شد.به همین دلیل عمق انها نمی‌تواند بیش از ۲۰ تا ۳۰ سانتیمتر شود.
- حد زهکشی باید با دقت رعایت شود زیرا شدت بیش از حد زهکشی موجب خشک و سیمانی شدن خاک و ترکهای عمیق (بدلیل وجود رس) می‌گردد. در خیلی از موارد رساندن آب به خاک‌های ترکدار نمی‌تواند به سادگی موجب از بین رفتن ترکها گردد. این حالت در دسترسی ریشه گیاه به آب و همچنین در آماده سازی زمین برای شخم زمین برای کشت برنج مشکل ایجاد می‌نماید.
- وزش بادهای موسوم به باد گرم در نیمه دوم سال بخصوص اگر چندین روز ادامه پیدا نماید موجب بالا رفتن زیاد درجه حرارت، پایین آمدن رطوبت و خشکی و ترک شدید در خاک خواهد شد. دراین حالت گیاهان کشت شده در خاک‌های زهکش‌دار از نظر دسترسی به آب آسیب بیشتری می‌بینند.

الگوی زهکشی سطحی:

به منظور ارائه الگوی مناسب برای نهرهای زهکشی سطحی فواصل مختلف زهکش‌های طولی (۲، ٤، ٦، ۸ و۱۰ متر) با عمق ۱۵ تا ۲۰ سانتی متر در دوحالت وجود و یا عدم وجود شیارهای کوچک عرضی با عمق ۱۰ سانتی متر، دریک شالیزار به مساحت ۱,۵ هکتار که در آن گیاه کلزا به عنوان کشت دوم کشت گردیده بود مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بدلیل مسطح بودن اراضی شالیزاری احداث انهار زهکشی

در دو بعد طولی و عرضی مزرعه، در تمام تیمارها بهتر از زهکش‌های طولی یک بعدی می‌باشد. بهترین فاصله زهکش‌های طولی پنج متر به همراه شیارهای عرضی با فاصله یک متر بدست آمد.

نتایج بدست آمده از این تحقیق به صورت ترویجی در شرایط مدیریت کشاورز مورد بررسی مجدد قرار گرفت. برای این کار سه حالت نهرهای یک بعدی طولی با فاصله ۲ متر (به عنوان کارا ترین روش زهکشی سطحی که البته هزینه زیادی دارد)، نهرهای دو بعدی با فاصله طولی ۵ متر (بهترین یافته علمی) و نهرهای کوچک عرضی بافاصله ۱ متر و بالاخره بدون زهکش در داخل مزرعه فقط با گشودن خروجی‌های مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت. عملکردکلزا حدود ۸۵٦، ۱۵٦۰و صفر کیلو گرم به ترتیب در تیمارهای بدست آمد.در نتیجه ثابت شد که روش زهکشی پیشنهادی می‌تواند کارایی مناسبی حتی در شرایط زارع داشته باشد. (۱۷)

در مطالعه دیگر به منظور بررسی عمق وطول زمان غرقابی در دوره‌های مختلف رشد کلزا به عنوان کشت دومدر اراضی شالیزاری عمقهای ایستابی ۵+، صفر، ۵-، ۱۰- با زمانهای غرقابی در چهار دوره ۲، ۵، ۷ و ۱۰ روزه در سه دوره رشد گیاه گلزا مورد بررسی قرا گرفتند.نتایج نشان دادند که افزایش مدت غرقابی از ۲ به ۱۰ روز در دورهٔ اول رشد، کاهش ۸/۲۱ درصدی عملکرد را در پی داشته است. مقدار این کاهش برای دورهٔ دوم ٦/۳۹٪ و برای دورهٔ سوم ۱۱/۵۸٪ بوده است. با افزایش مدت غرقابی از ۲ به ۱۰ روز، تعداد خورجین‌ها ۱۳٪، تعداد دانه در خورجین نیز ۱۳٪ و وزن هزار دانه ٦٪ کاهش یافتند. اما غرقاب ماندن گیاه، حداکثر به مدت ۲ روز کاهش در مقدار عملکرد دانه ایجاد نمی‌کند. دورهٔ سوم رشد حساس‌ترین مرحلهٔ رشد گیاه کلزا (رقم PF) نسبت به غرقابی است. چون هم عملکرد و هم اجزای آن در این دوره نسبت به غرقابی حساس‌تر بوده و کاهش بیشتری داشته‌اند. افزایش شدت غرقابی در دوره‌های مختلف رشد کلزا، علاوه بر تأثیری که روی کمیت دانه‌ها می‌گذارد، کیفیت روغن آنها رانیز کاهش می‌دهد. می‌توان انتظار داشت با افزایش شدت غرقابی، دانه‌های کمتر با درصد روغن پایین‌تر حاصل شوند. در این صورت، مقدار روغن کاهش مضاعف خواهد داشت. (۸و۹)

سلحشور اثر زهکشی و مقادیر مختلف کود ازته را در کشت کلزا پس از برداشت برنج مورد بررسی قرار داد. تیمارهای زهکشی شامل فاصله زهکش‌ها در دو سطح ۲و ٤ و یک سطح بدون زهکش و تیمارهای کود ازته در چهار سطح ۰، ۱۵۰، ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج به طور خلاصه نشان داد که تیمار زهکشی با فاصله ٤ متری با جویچه‌های عرضی یک متری و مقدار کود ۲۰۰ کیلوگرم بالا ترین عملکرد را حتی در مقایسه با فاصله ۲ متری دارد (٦).

نتیجه گیری :

به طور کلی بر اساس مطالبی که ذکر شد شرایط کشت برنج در کشور به گونه ای است که در کوتاه و میان مدت از نظر تطبیق پذیری با شرایط فعلی، بهترین راهکار برخورد با کم آبی در اراضی شالیزاری کشور، استفاده از روش آبیاری متناوب است. برای اجرای هرچه بهتر این روش ناگزیر از بازنگری در

مدیریت شبکه‌های آبیاری و انجام تغییرات لازم به منظور تطابق با شرایط آبیاری تناوبی می‌باشیم. اجرای این روش مستلزم همکاری بیشتر کشاورزان و داشتن پرسنل اجرایی متبحر و برنامه دقیق و در عین حال منعطف برای توزیع آب در سطح شبکه دارد. جلب همکاری کشاورزان از طریق روش‌های ترویجی امکان پذیر خواهد بود اما در نهایت اطمینان از تأمین آب در زمان تعیین شده و رعایت نوبت مهمترین عامل قبول آبیاری نوبتی از طرف آنان است.

در مورد مدیریت شبکه برای انجام نوبت‌بندی به طور منطقی نقاط قطع و وصل آب باید به کانال‌های درجه ۳ و ٤ منتقل گردد تا با تأمین امنیت خاطر کشاورزان که با مشاهده آب در کانال‌ها بدست می‌آید، بتوان اجرای طرح را با راندمان بالاتر میسر نمود. این امر نیز نیاز به بررسی علمی دارد.

در سطح مزرعه به طور قطع برای تغییر روش آبیاری به روش آبیاری تناوبی باید در روش‌های زراعی نظیر مبارزه با علف‌های هرز، تغذیه گیاهی و سایر عملیات داشت نیز تغییراتی اعمال گردد تا گیاه دچار خسارت نگردد. این کار تنها با اجرای طرح‌های تحقیقاتی و مطالعاتی توسط تیم‌هایی شامل همه گرایش‌های زراعی میسر خواهد بود. حاصل این مطالعات باید بهترین روش تأمین کود و مبارزه با علف هرز، رقم‌های مناسب و.. باشد.

در عین حال مطالعه و تحقیق در مورد کاربرد روشی SRI و برنج هوازی برای میان مدت و طولانی مدت اجتناب ناپذیر خواهد بود زیرا کمبود آب در آن زمان با شدت زیادتری رخ خواهد داد. این مطالعه و تحقیق ضمن توجه به عوامل فنی باید عوامل اجتماعی و اقتصادی را نیز مد نظر قرار دهد.

در مورد زهکشی به طور کلی می‌توان بیان نمود که میزان و سطح مطالعات و تحقیقات زهکشی در شالیزارها به منظورکشت دوم به هیچ وجه متناسب با اهمیت قضیه نبوده است. زهکشی زیر زمینی مورد تحقیق جدی قرار نگرفته است. در حالیکه می‌توان با تکیه بر یافته‌های علمی و استفاده از روش‌های ارزان نظیر استفاده از پوسته برنج به عنوان فیلتر، استفاده از زهکش لانه موشی و ترکیب بهینه زهکشی زیر زمینی و سطحی و مواردی از این نوع نسبت به کاهش هزینه‌ها ی زهکشی زیر زمینی تحقیق نمود. شرایط مختلف زهکشی سطحی برای محصولات مختلف و در شرایط مختلف بررسی نگردیده است. اما در عین حال با تکیه بر یافته‌های کنونی می‌توان ادعا نمود که زهکشی دیگر محدودیت اساسی و اصلی برای کشت دوم محسوب نمی‌شود زیرا می‌توان با استفاده از الگوی مناسب زهکش‌های سطحی درصد بالایی از شالیزارها را برای منظورهای مختلف بطور نسبی آماده نمود. مطالعات زهکشی سطحی تنها در صورت هماهنگی با سایر موارد تحقیقاتی نظیر ارقام مناسب وتغذیه گیاهی، ماشین آلات مناسب و... کارایی خواهد داشت. بدین منظور باید اثر زهکش‌های سطحی بر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در طی دوره رشد، شرایط تغذیه‌ای گیاه، راندمان کاری ماشین‌آلات و اثرات آن بر گیاه اصلی (برنج) مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. بخصوص بالا بودن هزینه کشت برنج و عدم گسترش مکانیزاسیون در اراضی شالیزاری کشور موجب می‌گردد تا زهکشی به منظور فراهم آوردن امکان تردد ماشین‌آلات برداشت، از جمله عرصه‌های مهم تحقیقات زهکشی در کشور قرار گیرد.

منابع:

۱- پارسی‌نژاد، م.، م. یزدانی، ت. رضوی پور.۱۳۸۲ نگرشی واقعی به راندمان کاربرد آب در اراضی شالیزاری (مطالعه موردی – شبکه آبیاری سپیدرود). یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۲- جعفری، ف. مدیریت آبیاری در خاک‌های ترک دار شالیزاری ۱۳۸٦. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- رضایی، م و م. نحوی.۱۳۸۲. اثر دور آبیاری بر مقدار مصرف آب و عملکرد برنج در گیلان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره۸۳. ۲

٤- رضوی پور، ت. و م. یزدانی . ۱۳۷۳. بررسی کاهش درصد رطوبت خاک در مراحل مختلف رشد برنج رقم بینام. موسسه تحقیقات برنج. ۳

٥- ٥-روزمه ۱۳۸٥. تعیین مناسبترین فرمول تجربی برای تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه برنج در منطقه گیلان (رشت). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

٦- سلحشور، ف. ۱۳۸٤. اثر زهکشی و مقادیر مختلف کود ازته در کشت کلزا پس از برداشت برنج. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تبریز.

۷- سیادت، ح.۱۳٥۱. بررسی‌های خاک و آب در زراعت برنج در ایران. نشریه شماره ۲٥٦. موسسه خاک شناسی و حاصلخیزی خاک.

۸- شریعت احمدی ۱۳۸٥. بررسی اثر عمق و مدت غرقابی در دوره‌های مختلف رشد کلزا به عنوان کشت دوم در شالیزارهای استان گیلان (رقم PF). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۹- فرزام صفت ۱۳۸٥.بررسی اثر عمق و مدت غرقابی در دوره‌های مختلف رشد کلزا به عنوان کشت دوم در شالیزارهای استان گیلان (رقم هایولا ۳۰۸). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران. پردیس ابوریحان.

۱۰-قائمی، محمدرضا. نتایج بررسی تاثیر رژیم‌های آبیاری برعملکرد برنج رقم بینام. مرکز تحقیقات کشاورزی گیلان، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی.

۱۱-کرد زنگنه، ع. ۱۳۷۲. اثر رژیمهای مختلف آبیاری برنج بر رقم آمل. گزارش پژوهشی بخش تحقیقات خاک و آب. مرکز تحقیات کشاورزی خوزستان.

۱۲-گیلانی، ا. و ش. آبسالان. ۱۳۸۳. بررسی اثر رژیم‌های آبیاری سطحی بر روی عملکرد و شاخص‌های رشد سه رقم برنج در استان خوزستان. موسسه تحقیقات برنج کشور. ٥

۱۳-نحوی، م. و م. یزدانی. و ح. رحیم سروش.۱۳۷۹. بررسی تاثیر دورهای مختلف آبیاری بر مقدار آب مصرفی، عملکرد و اجزای عملکرد عملکرد برنج. مجموعه مقالات دهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره ۳۸. ٦

۱۴-موسوی، م. ۱۳۸۷. **بررسی میزان تلفات عمقی در شالیزارهای تجهیز و نوسازی شده و سنتی در منطقه صومعه‌سرا**. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه اهواز.

۱۵-یزدانی، م و همکاران.۱۳۸۲. مقایسه مدیریت‌های مختلف آبیاری در زراعت برنج گیلان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. نشریه شماره۸۳. ۷

۱۶-یزدانی، م و همکاران ۱۳۸۵. ارزیابی واکنش ارقام ولاین‌های برنج نسبت دورهای مختلف آبیاری. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج. ۸

۱۷-یزدانی، م. م، قدسی. ف، موسوی.۱۳۸۶. مقایسه نوع و فواصل مختلف زهکشی سطحی در کشت کلزا پس از برداشت برنج در رشت. مجله علوم و فنون کشاورز ی و منابع طبیعی. دانشگاه صنعتی اصفهان.

۱۸- یزدانی، م و همکاران.۱۳۸۵. ارزیابی کانال‌های آبیاری و زهکشی در طرح‌های تجهیز و نوسازی راضی شالیزار. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور

19- Bedler, P., Bouman, B.A.M., Cabangon, R., Lu,G,Quilang, E.J.P.,Li, Y., Spiertz, J.H.J., Toung, T.P., 2004. Effect of water-saving irrigation on rice yield and water use in typical iowland condition in Asia. Agric. Water Manning. 65 (3), 193-210.

20- Tabbal, D.F., Bouman, B.A.M., Bhuiyan, S.I., Sibayan, E.B., sattar, M.A., 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice; case studies in the Philippine. Agric. Water Manag. 56, 93-12.

21- Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., 2001. Field water management to save water water and increase its productivity in irrigated rice. Agric. Water Manag. 49 (1), 11-30

22- Bouman, B.A.M., H. Hengsdijk, B. Hardly, P.S. Bindraban. T.P. Tung., J.K ladha. 2002. Water- wise Rice Production.IRRI.

23- Xiaoguang, Y.,et al. performance of temperate aerobic rice under different water regimes in nortern china. Agriculter water management.74 (2005), 107-122.

24- Bouman, B.A.M., Peng. S., Castaneda. A.R., 2004. Yield and water use irrigated tropical aerobic rice systems. Agriculter water management. 74 (2005), 87-105.

25- Nieuwenhuis, j., Bouman, B.A.M., Castaneda. A.R., 2002. crop-water response of aerobicaliy grown rice:preliminary results of pot experiments. IRRI.

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

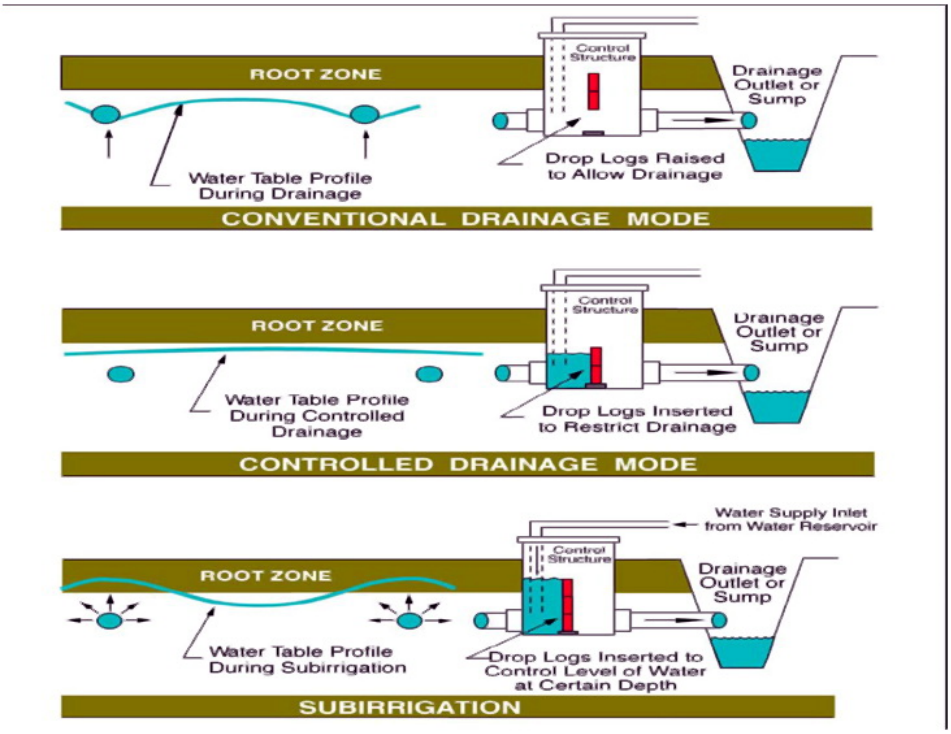
زهکشی به شیوه‌های متداول، به عنوان بخشی از مدیریت جامع منابع آب، وظیفه فراهم آوردن شرایط لازم برای رفت و آمد ماشین‌های کشاورزی بمنظور انجام عملیات زراعی، حفاظت گیاه در برابر شرایط ماندابی، و کنترل شوری خاک را بعهده دارد.

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)

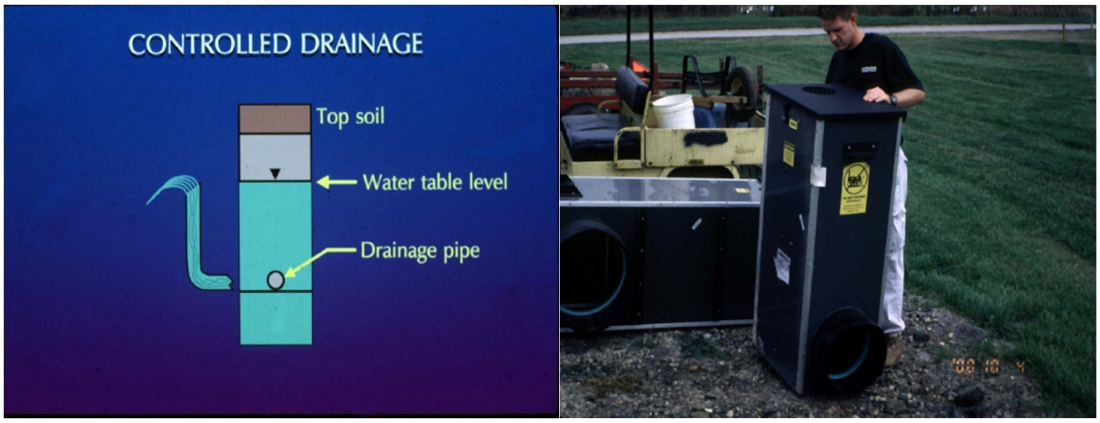
با عنایت به موارد بالا، به نظر می‌رسد که بتوان برخی از مناطق ایران، از جمله خوزستان را در زمره مناطق با پتانسیل زهکشی کنترل شده دانست.

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.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

بهینه‌سازی عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی با ملاحظات اقتصادی و زیست محیطی

بیژن نظری[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]، مسعود پارسی‌نژاد[۳]، عبدعلی ناصری[۴]

چکیده

با افزایش جمعیت و کاهش سرانه منابع آب و خاک استفاده بهینه و پایدار از این منابع اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. زهکشی اراضی از اقداماتی است که علاوه بر افزایش عملکرد در اراضی کشاورزی، استفاده پایدار از این اراضی را تضمین می‌کند. از مسائل و مشکلات اصلی طرح‌های زهکشی می‌توان به هزینه نسبتاً بالای این طرح‌ها، تولید حجم زیاد زهاب، تهدید کیفیت منابع آبی پایین‌دست، هزینه بالای دفع زهاب و اثرات سوء زیست‌محیطی ناشی از دفع زهاب اشاره کرد. عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی از عوامل مهم موثر در عملکرد سیستم‌های زهکشی و اثرات زیست‌محیطی این طرح ها می‌باشد. در مناطق با آب‌های شور کم‌عمق، مانند شرایطی که در خوزستان وجود دارد، افزایش عمق نصب زهکش‌ها می تواند به افزایش نمک خروجی از زهکش‌های زیرزمینی منجر شود. کاهش عمق نصب زهکش‌ها نیز پیامدهای مختلفی را مانند ماندابی شدن، تجمع نمک در ناحیه ریشه گیاه و کاهش عملکرد گیاه در پی خواهد داشت. با توجه به مسائل فوق و اثرات پیچیده عمق نصب زهکش‌ها بر روی عملکرد گیاه، بازده اقتصادی و پیامدهای زیست‌محیطی طرح‌های زهکشی ضروری است که در انتخاب عمق نصب زهکش‌ها حالت بهینه تعیین گردد به نحوی که حداکثر بازده اقتصادی با حداقل اثرات سوء زیست‌محیطی ممکن همراه باشد. در این مطالعه به کمک قابلیت‌های مدل DRAINMOD-S در شبیه‌سازی عملکرد سیستم زهکشی، عملکرد محصول (نیشکر) و بار نمک زهاب، اثر عمق زهکش بر کارآیی اقتصادی و زیست‌محیطی سیستم زهکشی واحد امیرکبیر (از

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران binazari@ut.ac.ir
۲ و ۳- به ترتیب دانشیار و استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران، aliaghat@ut.ac.ir
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

واحدهای کشت و صنعت نیشکر خوزستان) مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه با تلفیق پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی، عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی در قالب مفهوم بهره‌وری آب زیست محیطی، عمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی تعیین شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد عمق نصب زهکش در منطقه مورد مطالعه بایستی از حد کنونی آن (۲ متر) به ۱/۵ متر کاهش داده شود و البته با توجه به اهمیت موضوع انجام مطالعات مزرعه‌ای جامع در این خصوص ضروری است.

واژه‌های کلیدی: عمق زهکش، محیط زیست، زهاب، بهره‌وری آب، DRAINMOD-S

مقدمه

با افزایش جمعیت و کاهش سرانه منابع آب و خاک استفاده بهینه و پایدار از این منابع اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. زهکشی اراضی از اقداماتی است که علاوه بر افزایش عملکرد در اراضی کشاورزی، استفاده پایدار از این اراضی را تضمین می‌کند.

نگرش سنتی حاکم بر طراحی سیستم‌های زهکشی، هدف زهکشی را منحصراً افزایش عملکرد گیاه و بهبود شرایط محیط رشد می‌داند و اثرات زیست‌محیطی طرح‌های زهکشی را مورد بررسی قرار نمی‌دهد. امروزه این نگرش جایگاه خود را از دست داده است و در نگرش جدید علاوه بر اهداف کشاورزی و تولیدی، اهداف زیست‌محیطی نیز در طرح‌های زهکشی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

دفع زهاب‌های حاصله از زهکشی اراضی کشاورزی که معمولاً کیفیت نامطلوبی دارند بسیار مشکل می‌باشد. دشواری و حساسیت مسئله، با وجود دو هدف همزمان افزایش عملکرد و حفظ محیط زیست دوچندان می‌شود. عدم دستیابی به راه حل‌های مناسب موجب از بین رفتن و به خطر افتادن اراضی کشاورزی خواهد شد (مانگورا وگاریس، ۱۹۹۷).

عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی از عوامل مهم و موثر در عملکرد سیستم‌های زهکشی و اثرات زیست محیطی حاصل از این طرح‌ها می‌باشد. دورل و فیو (۱۹۹۰) مشاهده کردند که وقتی زهکش‌ها در عمق ۱/۸ متری نصب گردند، حدود ۳۰ درصد از جریان ورودی به داخل آنها از آب زیرزمینی خواهد بود و اگر عمق نصب به ۲/٦ متری برسد این مقدار به حدود ٦۰ درصد خواهد رسید. در نواحی خشک و با سفره آب زیرزمینی کم‌عمق شور، افزایش آب ورودی به داخل زهکش‌ها از اعماق پایین‌تر سفره زیرزمینی باعث کاهش کیفیت زهاب‌ها خواهد شد (آذری و همکاران، ۱۳۸۱).

آیرز و همکاران (۱۹۸۷) دریافتند که شوری زهاب خارج شده از زهکش‌های نصب شده در عمق ۲ متری بیش از شوری زهاب خارج شده از زهکش‌هایی است که در عمق ۱/۷ متری نصب شده‌اند. زهکش‌هایی که در عمق بیشتری نصب شده اند، دارای زهاب خروجی بیشتری نیز خواهند بود و زمانی که خروج زهاب از زهکش‌های کم عمق متوقف می شود خروج از زهکش‌های عمیق‌تر ادامه دارد.

اسکگز و چشیر (۱۹۹۹) از مدل DRAINMOD برای شبیه‌سازی سیستم زهکشی در ۱۷ فاصله زهکشی (از ۵ تا ۳۰۰ متر) و در پنج عمق زهکش (۰/۷۵ و ۱ و ۱/۲۵ و ۱/۵ و ۱/۷۵ متر)، در یک دوره ٤۰ ساله از

۱۹۵۱ تا ۱۹۹۰ استفاده نمودند. نتایج مدل در این مطالعه نشان داده است که به طور کلی با افزایش فواصل زهکش‌ها و با کاهش عمق نصب زهکش‌ها عملکرد گیاه کاهش داشته است.

ونگ و همکاران (۲۰۰۶) از مدل DRAINMOD برای پیش‌بینی عملکرد گیاه در زمین‌های با فواصل مختلف زهکشی استفاده کردند. در این مطالعه دو گیاه ذرت و سویا و چهار فاصله زهکشی (۵، ۱۰، ۲۰ و ٤۰ متر) در یک دوره ۱۵ ساله مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داده است که مدل کارآیی خوبی در پیش‌بینی محصول هر دو گیاه داشته است. محققین در این مطالعه برای طراحی فواصل زهکش‌ها در جهت دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه، برتری مطالعات و شبیه‌سازی بلند مدت و چندساله را به مطالعات کوتاه مدت اعلام داشته‌اند. همچنین محققین در این مطالعه به این مسئله اشاره کرده‌اند که هرچند سیستم زهکشی مصنوعی برای دفع آب اضافی و ایجاد محیط مناسب برای رشد گیاه طراحی و اجرا می‌شود، اما زهکشی بیش از حد، به ویژه در دوره‌های حساس رشد گیاه، منجر به کاهش عملکرد گیاه و افزایش میزان تخلیه نیترات خواهد شد.

هورنباکل و همکاران (۲۰۰۷) سیستم زهکشی چند عمقی را برای بهسازی کیفیت آب زهکشی ارزیابی کردند. در این مطالعه سیستم زهکشی سنتی تک عمقی با سیستم زهکشی چند عمقی مقایسه شده است. نتایج این مطالعات نشان داده است که سیستم زهکشی چند عمقی، ماندابی را بهتر کنترل کرده و بدون اینکه افزایشی در تخلیه نمک[1] ایجاد نماید، آبشویی بهتری نسبت به سیستم تک عمقی داشته است. از طرف دیگر شوری زهاب در زهکش‌های کم‌عمق نسبت به زهکش‌های عمیق بسیار کمتر بوده است (٤/۷ در مقابل ۳۱/۷ دسی زیمنس بر متر) و ترکیب زهکش‌های کم عمق و عمیق (زهکش‌های چند عمقی) می‌تواند گزینه بسیار مناسبی برای مدیریت دفع زهاب باشد. به عبارتی در سیستم‌های زهکشی چند عمقی می‌توان در فصولی از سال که شوری زهاب مسئله‌ساز است، زهکشی را محدود به زهکش‌های کم عمق کرد و در خاک شوری را ذخیره کرد و در فصول دیگر که شوری زهاب کمتر مسئله‌ساز است از ترکیب زهکش‌های عمیق و کم‌عمق استفاده کرد. کریستن و اسکهان (۲۰۰۱) نیز با مطالعه زهکش‌های مول کم‌عمق بهبود چشمگیر شوری زهاب خروجی را گزارش کرده‌اند.

قائمی و ویلاردسون (۱۹۹۲) زهکش‌های کم عمق را علی رغم رفع مشکل ماندابی در کنترل موثر شوری خاک در بلند مدت ناموفق شمردند. هورنباکل و همکاران (۲۰۰۷) با اشاره به این موضوع که در زهکش-های کم عمق تخلیه آب از ناحیه ریشه سریعاً روی می‌دهد کارآیی زهکش‌های کم عمق را در شستشوی سریع نمک از پروفیل خاک بیشتر دانسته‌اند. با این وجود به این نکته نیز اشاره کرده اند که در شرایطی که تبخیر بالا بوده و جریان کاپیلاری نیز سهم قابل توجهی در تجمع نمک در خاک داشته باشد، زهکش های کم عمق به تنهایی نمی توانند از تجمع نمک در ناحیه ریشه جلوگیری کنند و در دراز مدت این سیستم ها ناکارآمد خواهند بود.

به دلیل اثرات پیچیده عمق نصب زهکش‌ها بر روی عملکرد گیاه، بازده اقتصادی طرح و همچنین مسائل

1- Salt load

زیست‌محیطی ضرورت انتخاب عمق بهینه نصب زهکش‌ها به نحوی که حداکثر بازده اقتصادی با حداقل اثرات سوء زیست‌محیطی (بار نمک زهاب) را در بر داشته باشد، وجود دارد. در این تحقیق با این نگرش عمق بهینه نصب زهکش‌ها تعیین شده است. در این راستا برای شبیه‌سازی وضعیت شوری در منطقه ریشه، زهاب خروجی از زه‌کش‌ها و عملکرد گیاه نیشکر در عمق‌های زهکش مختلف از مدل DRAINMOD-S استفاده شده است.

در ادامه با محاسبه هزینه‌ها و منافع حاصله از عمق‌های مختلف زهکشی و بر اساس روابط استخراج شده بین عملکرد گیاه و بار نمک زه آب خروجی با عمق نصب زهکش‌ها، عمق بهینه نصب زهکش‌ها تعیین شده است. در این مطالعه ملاحظات زیست‌محیطی حاصل از اعماق نصب مختلف در زه‌کش‌ها، در قالب بار نمک زهاب خروجی از زهکش های زیرزمینی تعریف شده است زیرا این پارامتر مهمترین فاکتور تعیین کننده میزان آلودگی و تخریب محیط زیست توسط زهاب می‌باشد. تلفیق پیامد اقتصادی عمق زهکش (عملکرد نیشکر) و پیامد زیست محیطی آن (بار نمک زهاب) در قالب مفهوم بهره‌وری هزینه زیست محیطی (بهره‌وری آبی که برای رقیق سازی زهاب تا حد کیفی قابل قبول لازم است.) انجام گرفته است.

مواد و روش‌ها

کلیات طرح زهکشی کشت و صنعت امیرکبیر

کشت و صنعت امیر کبیر یکی از شرکت‌های هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان است. این واحد در ٤٥ کیلومتری جنوب اهواز و در غرب رودخانه کارون و شرق جاده اهواز به خرمشهر واقع است. موقعیت جغرافیایی این واحد دارای حد شمالی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه، حد جنوبی ۳۱ درجه و ٤٠ دقیقه، حد شرقی ٤٨ درجه و ۳۰ دقیقه (رودخانه کارون)، حد غربی ٤٨ درجه و ۱۲ دقیقه (جاده اهواز- خرمشهر) می‌باشد (منصوری سرنجیانه، ١٣٨٤). منبع تامین آب مورد نیاز واحد امیر کبیر رودخانه کارون است و نحوه برداشت آب از طریق سیستم پمپاژ می‌باشد. کیفیت آب در دسترس در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. در جدول (۱) میانگین شوری ماهانه رودخانه کارون در محل ایستگاه پمپاژ امیر کبیر آورده شده است (گزارش سالانه مرکز تحقیقات نیشکر ۱۳۸۳).

جدول (۱): EC آب کانال امیر کبیر در ماه های فروردین تا دی سال ۱۳۸۳ (فصل آبیاری نیشکر) (dS/m)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی
شوری آب dS/m	۱/٦۰	۰/۹٦	۱/٤۸	۱/٦۱	۱/۷٦	۲/۳۱	۲/۲۲	۱/۷۷	۱/۷	۱/۷۹

مدل DRAINMOD-S

مدل DRAINMOD-S (کندبل، ۱۹۹۲) از زیرمدل‌های مدل DRAINMOD می‌باشد که علاوه بر قابلیت‌های مدل اصلی، قابلیت شبیه‌سازی شوری خاک و زهاب را نیز دارا می‌باشد. مدل DRAINMOD به منظور شبیه‌سازی نوسانات سطح ایستابی و زهاب خروجی از زهکش‌ها در مناطقی که سطح ایستابی در عمق کم قرار گرفته است به کار می‌رود. مدل بر اساس محاسبه معادله بیلان آب عمل می‌کند. مدل DRAINMOD قادر است عملکرد سیستم‌های مختلف مدیریت آب مانند زهکشی آزاد، زهکشی کنترل شده، آبیاری زیرزمینی و ترکیبی از این سه مورد را شبیه‌سازی کند.

داده‌های ورودی مدل DRAINMOD-S شامل داده‌های اقلیمی، خصوصیات فیزیکی خاک، شرایط اولیه شوری خاک (که شوری آب زیرزمینی هم در این قسمت معرفی می‌شود)، پارامترهای سیستم زهکشی و اطلاعات گیاه می‌باشد.

اطلاعات ورودی مدل DRAINMOD-S

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل شامل بارندگی ساعتی، تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه و دمای روزانه (اختیاری) می‌باشد. در این مطالعه اطلاعات هواشناسی از پایگاه داده‌های ایستگاه هواشناسی اهواز مربوط به سال ۲۰۰٤ میلادی (۱۳۸۳ شمسی) تهیه و به مدل معرفی گردید. سال ۱۳۸۳ به علت در دسترس بودن اطلاعات بیشتری از شبکه زهکشی انتخاب گردید. به علت در دسترس نبودن اطلاعات بارش ساعتی از قابلیت مدل در تبدیل بارش روزانه به بارش ساعتی استفاده گردید. هرچند در مناطق خشک این مسئله می تواند منبع خطایی برای مدل باشد، از آنجایی که سهم بارش به آبیاری ناچیز بوده است (سالانه ۲۸/۵ سانتی متر و ۳۳۸/۵ سانتی متر)، این خطا تا حدی قابل اغماض می‌باشد. بدیهی است معرفی اطلاعات ساعتی بارش به مدل می تواند نتایج دقیق‌تری را داشته باشد. همچنین مقادیر تبخیر و تعرق به روش فائو پنمن مانتیث محاسبه شده و به مدل معرفی گردید.

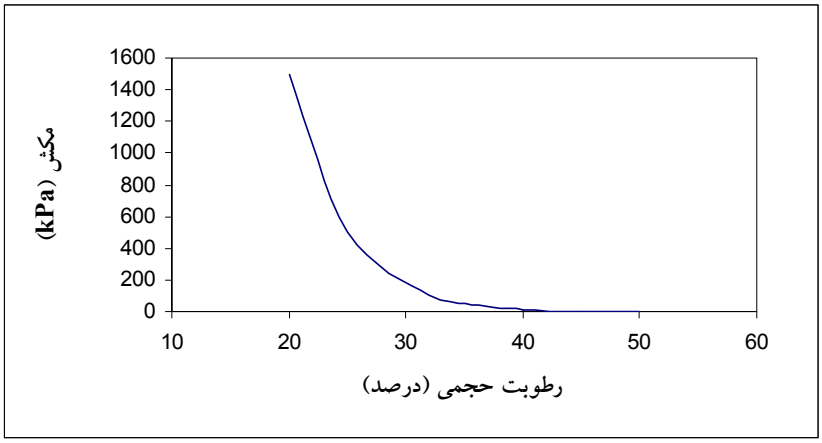
مهمترین اطلاعات ورودی خاک، اطلاعات مربوط به هدایت هیدرولیکی افقی خاک و منحنی مشخصه رطوبتی خاک می‌باشد. در جدول (۲) خلاصه‌ای از اطلاعات مربوط به بافت خاک آورده شده است. منحنی مشخصه رطوبتی خاک نیز در شکل (۱) نشان داده شده است.

جدول (۲): خلاصه‌ای از خصوصیات فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی (منصوری سرنجیانه، ۱۳۸٤)

رس ٪	سیلت ٪	شن ٪	بافت خاک
۳۱	۳۳	۳٦	C.L.

اساس شبیه‌سازی شوری پروفیل خاک در مدل DRAINMOD-S، حل معادله Advective-dispersive

به روش بیلان جرم است (کندیل، ۱۹۹۲). در جدول (۳) شوری اولیه پروفیل خاک معرفی شده به مدل ارائه شده است. شایان ذکر است حد رسوب‌گذاری نمک، که از پارامترهای ورودی مدل DRAINMOD-S می‌باشد، با توجه به نوع نمک غالب آب آبیاری و محلول خاک برای نمک کلرید سدیم طبق توصیه ترک‌زبان (۱۳۷۹)، ۳۳۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر معرفی شد. ورودی‌های مورد نیاز مدل برای پارامترهای سیستم زهکشی در جدول (٤) خلاصه شده است.



شکل (۱): منحنی مشخصه رطوبتی خاک معرفی شده به مدل (منصوری سرنجیانه، ۱۳۸٤)

جدول (۳): شوری اولیه پروفیل خاک در ابتدای دوره شبیه‌سازی (حالت بعد از آبشویی اولیه خاک)

عمق خاک (cm)	۰-۳۰	۳۰-٦۰	٦۰-۹۰	۹۰-۲۰۰	۲۰۰-۳۰۰	۳۰۰-٤۰۰	٤۰۰-٤٥۰
شوری (dS/m)	۱/٤۳	۲	۲/۲۸	۳/۲٤	٤/٦۹	۹/۳۸	۲٥

جدول (٤): خلاصه‌ای از ورودی‌های پارامترهای سیستم زهکشی

پارامتر	مقدار
عمق زهکش (متر)	۲
فاصله زهکش‌ها (متر)	٤۰
ضریب زهکشی[۱] (سانتی متر در روز)	۱/۲
شعاع موثر زهکش‌ها[۲] (سانتیمتر)	۱/٥
عمق لایه غیر قابل نفوذ (متر)	٤/٥
حداکثر نگهداشت سطحی (سانتیمتر)	۱۰

۱- حداکثر مقداری که شدت تخلیه پیش‌بینی شده در مدل DRAINMOD می‌تواند داشته باشد، مقدار ضریب زهکشی معرفی شده به مدل می‌باشد. حداکثر ضریب زهکشی مشاهده شده در واحد امیرکبیر (منصوری سرنجیانه، ۱۳۸۴)، به عنوان حداکثر ضریب زهکشی ممکن به مدل معرفی شده است تا توان تخلیه لوله‌های زهکشی در شرایط واقعی لحاظ گردد.

۲- این پارامتر معادل شعاع دایره فرضی با مساحت سطح سوراخ‌های لوله زهکش در واحد طول لوله زهکش می‌باشد و با توجه به نوع و ابعاد لوله در کتابچه راهنمای مدل مقادیر آن آورده شده است.

به منظور امکان برآورد عملکرد نسبی نیشکر در تیمارهای مختلف مورد مطالعه، فایل مشخصه‌های گیاهی نیشکر، در مدل DRAINMOD ایجاد گردید. از مهمترین مشخصه‌های مطرح در این زمینه می‌توان به تاریخ کشت نیشکر، توسعه رشد ریشه در طول فصل رشد، آستانه تحمل و ضرایب کاهش عملکرد نیشکر در تنش‌های شوری، خشکی، ماندابی و تاخیر در کاشت اشاره کرد. به منظور تعیین تغییرات عمق ریشه در طول فصل رشد از روش توصیه شده در راهنمای مدل DRAINMOD استفاده گردید. اساس این روش استفاده از روند تغییرات ضریب گیاهی می‌باشد. به این ترتیب که در زمان حداکثر ضریب گیاهی، حداکثر عمق ریشه در نظر گرفته می‌شود. برای دوره‌های دیگر نسبت عمق ریشه دوره مربوطه به عمق ریشه حداکثر، معادل نسبت ضریب گیاهی آن دوره به ضریب گیاهی حداکثر در نظر گرفته می‌شود. نظر به اینکه نیشکر گیاهی چند ساله است با فرض شبیه سازی مدل برای کشت اول نیشکر از این روش استفاده شده است (اسکگز، ۱۹۷۸).

در مدل DRAINMOD اثر تنش ماندابی بر عملکرد محصول توسط شاخص تنش روز تنش ماندابی (SDIw) لحاظ می‌گردد. شاخص تنش روز در تنش ماندابی بر حسب ضریب حساسیت گیاه به ماندابی (CSw) و ضریب روز تنش (SDW) و به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$SDIw = \sum_{j=1}^{N} CDwj \times SDWj \qquad (۱)$$

در رابطه فوق j شماره روز از تاریخ کاشت محصول می‌باشد. به منظور تعیین ضرایب حساسیت نیشکر نسبت به تنش ماندابی در مدل DRAINMOD از مقادیر ارائه شده در مطالعه گایل و همکاران (۱۹۸۷) استفاده گردید. این مقادیر در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول (۵): ضرایب حساسیت به تنش ماندابی در نیشکر (گایل و همکاران (۱۹۸۷))

مرحله رشد	طول دوره رشد	ضریب حساسیت گیاه به ماندابی (CS)
مرحله خواب تا رشد اولیه	۰-۱۳۰	۰/۶۰
مرحله میانی رشد	۱۳۱-۲۶۰	۰/۴۰
مرحله بلوغ	۲۶۱-۲۹۱	۰/۰۱

در طبقه‌بندی گیاهان زراعی نسبت به تحمل به شوری، نیشکر جزء گیاهان نسبتاً حساس قرار می‌گیرد. حد آستانه شوری در نیشکر ۱/۷ دسی زیمنس بر متر بوده و شیب کاهش عملکرد نیشکر نسبت به افزایش یک واحد شوری ۵/۹ درصد می باشد (احتشامی و همکاران، ۱۳۷۸).

نتایج

بهره‌وری آب

بهره‌وری آب[1] (WP) نسبت محصول تولیدی به ازای واحد آب برداشت شده و یا مصرف شده می‌باشد که محصول تولیدی می‌تواند در قالب مقدار فیزیکی (کمیت محصول به کمیت آب) و یا پولی (ارزش پولی محصول به ارزش پولی آب) و یا ترکیبی از این دو (ارزش پولی محصول به کمیت آب) باشد. بهره‌وری آب (WP) به شکل های مختلفی تعریف و استفاده می‌شود. تعریف مشخص و واحدی که درتمام شرایط مناسب باشد وجود ندارد. در بیان کلی بهره‌وری عبارت است از مقدار محصول به ازای واحد نهاده (بارکر و همکاران، ۲۰۰۳).

آمیختن زهاب با کیفیت ضعیف با آب آبیاری با کیفیت مناسب را اختلاط گویند. به شرط آنکه آب مخلوط شده در حد مناسب حاوی غلظت کمی از نمک و یون‌های سمی باشد، مخلوط کردن باصرفه‌ترین و قابل قبول‌ترین روش زیست‌محیطی دفع زهاب است (مهردادی و همکاران، ۱۳۸۰).

نظر به اینکه در این مطالعه هدف مقایسه کارآیی زیست محیطی عمق‌های زهکش مختلف بوده است، از ترکیب دو مفهوم بهره‌وری آب و اختلاط زهاب با آب آبیاری استفاده شده است. به این ترتیب بهره‌وری میزان آبی که باید برای رقیق‌سازی زهاب بکار رود در گزینه های مختلف محاسبه شده است. بهره‌وری آب در این مورد را می توان بهره‌وری هزینه زیست محیطی نامید. بدین ترتیب کارآیی اقتصادی عمق نصب زهکش (عملکرد نیشکر) در صورت کسر بهره‌وری آب و ملاحظات زیست‌محیطی عمق نصب زهکش (بار نمک زهاب که نشان‌گر حجم و شوری زهاب می‌باشد.) در مخرج کسر بهره‌وری آب لحاظ می‌گردند.

رابطه کلی مورد استفاده برای محاسبه بهره‌وری آب (بهره‌وری هزینه زیست محیطی) در این مطالعه به صورت زیر بوده است:

$$WP = \frac{P}{V_d} \qquad (٤)$$

در رابطه فوق WP: بهره‌وری آب (بهره‌وری هزینه زیست محیطی) بر حسب ریال بر متر مکعب آب، P: درآمد تولید نیشکر به ریال (ناخالص) و V_d: حجم آبی است که لازم است به زهاب تولیدی هر هکتار از اراضی نیشکر اضافه شود تا شوری زهاب را به حد قابل قبول زیست‌محیطی برساند و بر حسب متر مکعب می‌باشد.

در فرآیند اختلاط حجم آب لازم برای رقیق‌سازی زهاب خروجی از زهکش‌ها (V_d) با رابطه (٥) محاسبه شده است. همچنان که در رابطه (٥) ملاحظه می‌شود، حجم آب لازم برای رقیق‌سازی زهاب در هر روز و در سطح یک هکتار محاسبه شده و در نهایت مجموع مقادیر بدست آمده در روزهای مختلف سال به عنوان حجم آب لازم سالانه محاسبه می‌گردد.

1- Water Productivity

$$V_d = 10^2 \times [\sum_{i=1}^{365} q_i \times (\frac{EC_{dw} - EC_a}{EC_a - EC_i})] \qquad (۵)$$

که در آن

V_d: حجم آب لازم برای رقیق‌سازی زهاب خروجی از زهکش‌ها (متر مکعب در سال)؛ q_i: شدت زهکشی (سانتی‌متر بر روز)، (از نتایج مدل DRAINMOD-S)؛ EC_{dw}: شوری زهاب (ppm)، (از نتایج مدل DRAINMOD-S)؛ EC_i: شوری آب بکار رفته در رقیق‌سازی زهاب (ppm)؛ EC_a: حد شوری قابل‌قبول برای زهاب[۱] (ppm)

پس از محاسبه بهره‌وری آب در هر عمق، رابطه عمق زهکش و بهره‌وری آب بر اساس نتایج مدل DRAINMOD-S استخراج شده است. در ادامه به کمک نرم‌افزار بهینه‌سازی LINGO، عمق بهینه زهکش‌ها با هدف بیشینه‌سازی بهره‌وری آب (بهره‌وری هزینه زیست محیطی) تعیین شده است.

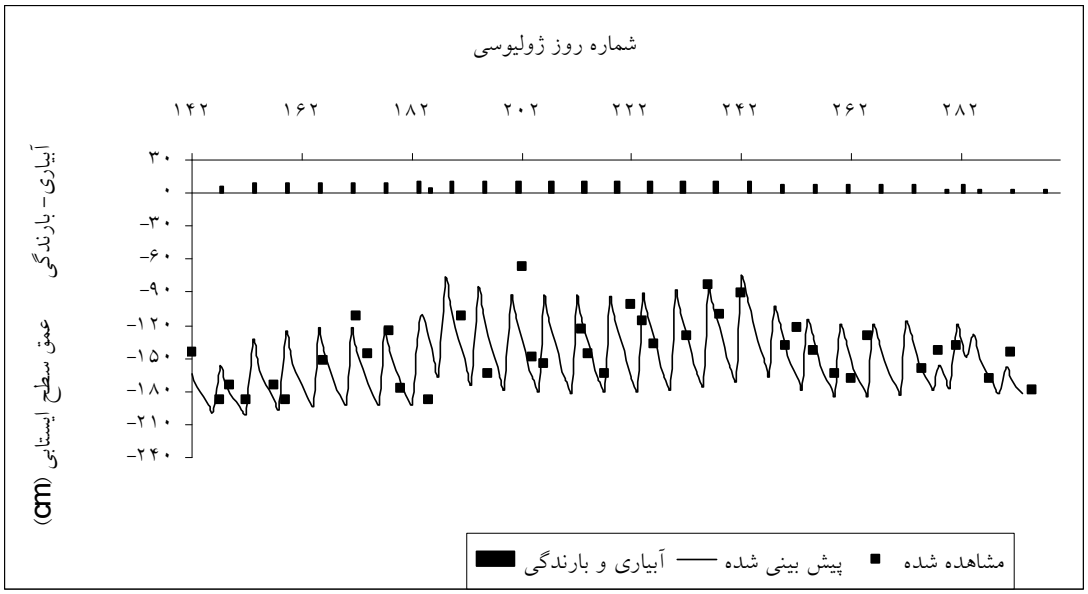
ارزیابی مدل DRAINMOD در منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه مقادیر عمق آب زیرزمینی اندازه‌گیری شده (منصوری سرنجیانه، ۱۳۸۳) و پیش‌بینی شده در طی دوره تحت مطالعه در شکل (۳) نشان داده شده است. عمق آب زیرزمینی مربوط به وسط بین دو زهکش می‌باشد. ملاحظه می‌شود که تطابق خوبی بین مقادیر واقعی و مقادیر شبیه‌سازی وجود دارد.

در این مطالعه مقادیر میانگین انحراف مطلق و خطای استاندارد به ترتیب برابر ۲۲/۵ و ۲۹/۵ سانتی‌متر بدست آمده است که در محدوده گزارش شده سایر محققین می‌باشد. به طور کلی بر اساس تحقیقات انجام شده، میانگین انحراف مطلق و خطای استاندارد برای پیش‌بینی سطح ایستابی به ترتیب در محدوده ٤ تا ٢٤ و ٦ تا ٣٠ سانتی‌متر گزارش شده است (اسکگز (۱۹۷۸)، چنگ و همکاران (۱۹۸۳)، گوپتا و همکاران (۱۹۹۳)، وهبا و همکاران (۲۰۰۲)، ونگ و همکاران (۲۰۰٦)).

در این مطالعه از مدل DRAINMOD در شبیه‌سازی سیستم زهکشی در عمق‌های زهکش مختلف (از عمق ۱۰۰ سانتی‌متر تا عمق ۲۱۰ سانتی‌متر در فاصله‌های ۵ سانتی‌متری) استفاده شده است. نتیجه این شبیه‌سازی‌ها استخراج روابط عمق زهکش- عملکرد گیاه نیشکر و عمق زهکش – بار نمک زهاب بوده است. این روابط برای تعیین عمق بهینه زهکش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

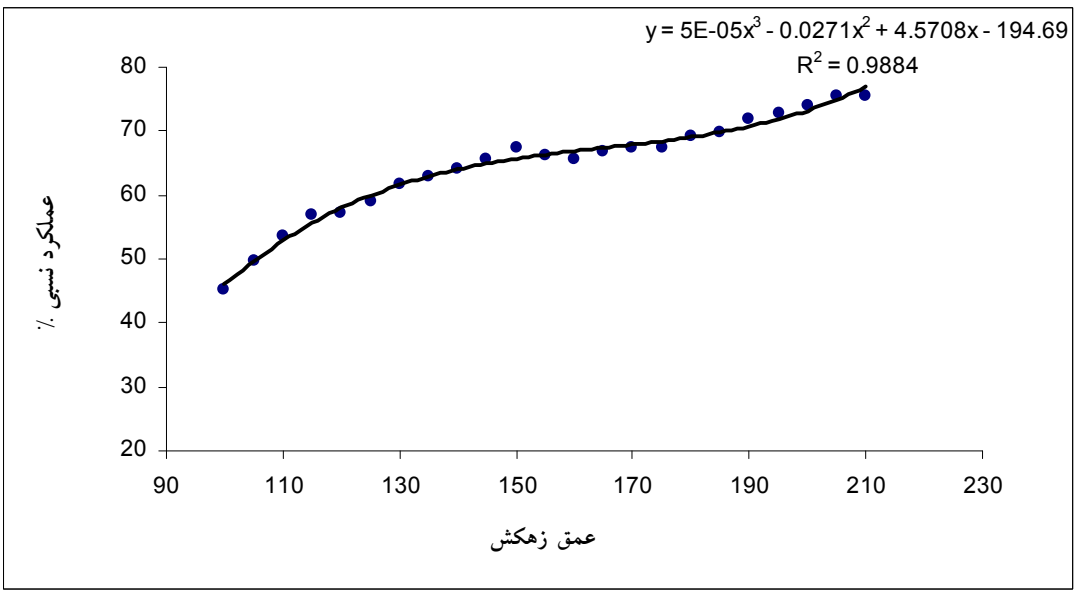
۱- حد شوری آب آبیاری برای پتانسیل عملکرد ۷۵ درصد در جو، سورگوم، گندم، نیشکر و ذرت به ترتیب ۸/۷، ۵/۶، ۶/۳، ۴ و ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد (حاج رسولیها، ۱۳۸۲). در این مطالعه با پیشنهاد کشت گیاهان مقاوم در پایین‌دست طرح زهکشی حد شوری قابل قبول برای زهاب ۶ دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شده است.



شکل (۳): مقایسه نوسانات سطح ایستابی مشاهده شده و پیش‌بینی شده

اثر عمق زهکش بر روی عملکرد نیشکر

در این مطالعه اثر عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی بر روی عملکرد نیشکر بررسی شده است (شکل (٤)). این شکل نتیجه اجرای مدل DRAINMOD-S در بازه عمق زهکش ۱۰۰ تا ۲۱۰ سانتی‌متر و در فاصله‌های ۵ سانتی‌متری می‌باشد. به عبارتی تمامی معیارهای طراحی و مدیریتی در گزینه های مختلف یکسان بوده است و عمق زهکش تنها پارامتر متغیر در اجرای مدل بوده است.

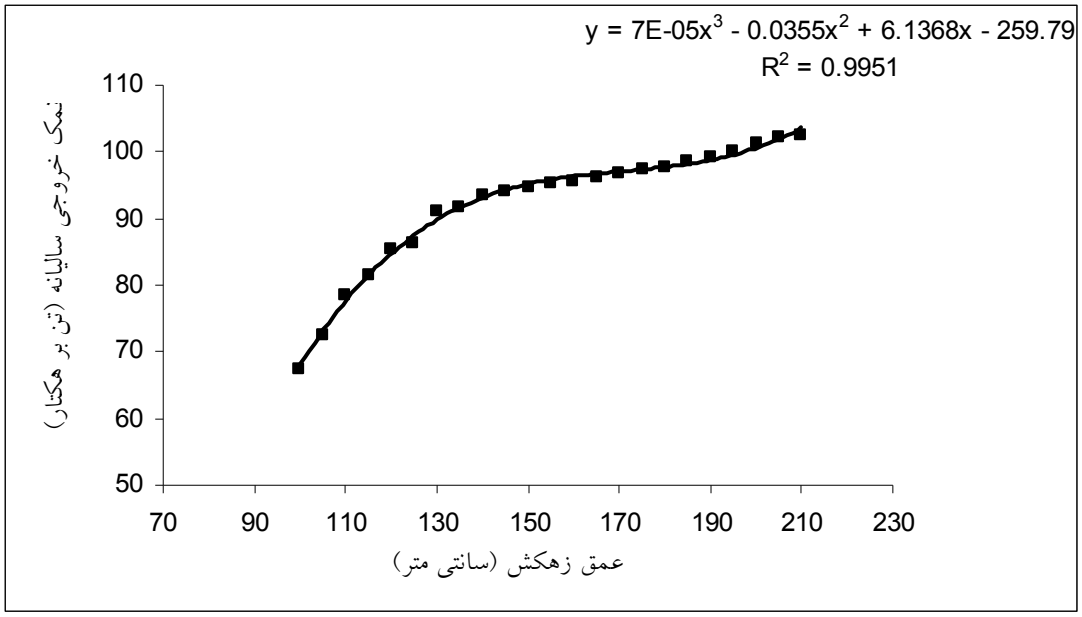


شکل (٤-۲): اثر عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی بر عملکرد نیشکر

همانطوری که در شکل ملاحظه می‌شود، از عمق ۱۰۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری با افزایش عمق نصب زهکش‌های زیر زمینی عملکرد نیشکر افزایش یافته است در حالی که از عمق ۱۵۰ سانتی‌متری تا عمق ۱۷۵ سانتی‌متری با افزایش عمق زهکش‌ها عملکرد نیشکر تغییر چندانی نداشته است. همچنین از عمق ۱۸۰ سانتی‌متری تا عمق ۲۱۰ سانتی‌متری با افزایش عمق نصب زهکش‌ها عملکرد نیشکر افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد که همواره افزایش عمق نصب زهکش موجب افزایش یکنواخت عملکرد گیاه نخواهد شد. به این موضوع در مطالعات دیگر نظیر مطالعه (اسکگز و چشیر، ۱۹۹۹) نیز اشاره شده است.

اثر عمق زهکش بر روی بار نمک زهاب

فایل خروجی مدل DRAONMOD-S در پیش‌بینی شوری زهاب شامل ضریب زهکشی روزانه و شوری زهاب روزانه می‌باشد. از این نتایج میزان کل نمک خروجی از زهکش‌ها محاسبه شده است. شکل (۵) رابطه بین عمق زهکش‌ها و نمک خروجی از زهکش ها را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش عمق زهکش، نمک خروجی از زهکش‌ها افزایش می‌یابد ولی روند افزایش خطی نیست. تا عمق ۱۵۰ سانتی‌متری روند افزایشی زیاد بوده ولی بعد از آن کاهش می‌یابد

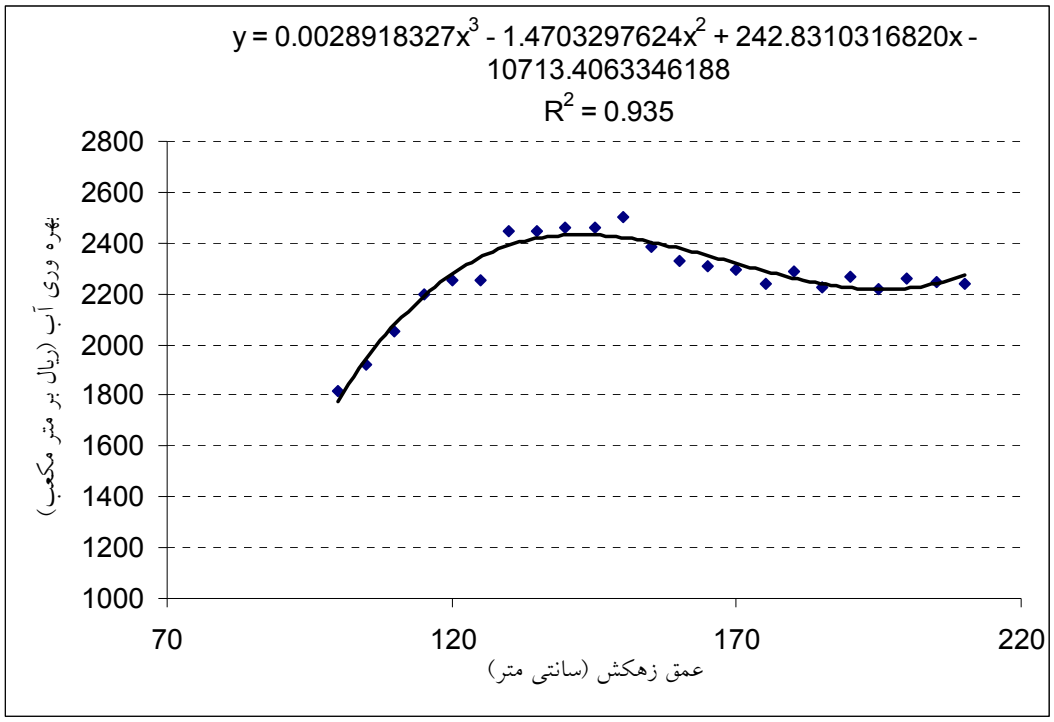


شکل (۵): اثر عمق نصب زهکش‌ها بر روی نمک خروجی از زهکش‌ها

عمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی

چنانچه گفته شد، به منظور تلفیق مناسب پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی عمق نصب زهکش‌های زیر زمینی از مفهوم بهره‌وری آب (بهره‌وری هزینه زیست‌محیطی) استفاده شده است. شکل (٦) رابطه بین عمق زهکش‌ها و بهره‌وری آب را نشان می‌دهد. بهره‌وری آب (بهره‌وری هزینه زیست‌محیطی) در این مطالعه بر

اساس رابطه (۳) که صرفاً برای تلفیق اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی اثر عمق زهکشها ارائه شده است، محاسبه گردیده است.



شکل (٦): رابطه بین عمق نصب زهکش‌ها و بهره‌وری آب (بهره‌وری هزینه زیست‌محیطی)

در ادامه به منظور تعیین عمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی از تابع هدف بیشینه‌سازی بهره‌وری آب استفاده شده است. به منظور حل تابع هدف، از نرم افزار LINGO 8 استفاده شده است. مدل نوشته شده در نرم‌افزار LINGO به صورت زیر می‌باشد[۱]:

```
max= 0.0028918327*depth^3 - 1.4703297624*depth^2 + 242.8310316820*depth - 10713.4063346188;
depth>=100;
depth<=220;
```

نتیجه حل تابع هدف فوق در محیط LINGO برابر ۲٤۰۱ ریال بر متر مکعب و در عمق زهکش برابر ۱٤۲/٤ سانتی‌متر بوده است (تعداد تکرار در حل تابع هدف: ۱۵). عمق زهکش ۱۵۰ سانتی‌متر می‌تواند معیار مناسبی برای طراحی زهکش‌های زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه باشد.

۱- ممکن است تعداد اعشار ضرایب رابطه بهره‌وری بیشتر از حد لزوم به نظر برسد اما باید توجه داشت که مقادیر عمق زهکش از ۱۰۰ تا ۲۲۰ سانتی متر تغییر می‌کند و تابع برازش داده شده تابعی درجه ۳ می باشد لذا رابطه حساسیت بالایی به ضرایب جمله های خود دارد (مثال: ۲۰۰ به توان ۳ برابر ۸۰۰۰۰۰۰).

بحث و نتیجه‌گیری

نظر به اینکه در این مطالعه از شبیه سازی عملکرد سیستم زهکشی استفاده شده است و در طی این روند فرضیات مختلفی در جهت ساده سازی شرایط پیچیده واقعی صورت گرفته است، ضروری است که قبل از بخش بحث و نتیجه گیری به مهمترین فرضیات مطرح اشاره شود.

جدول (٦): فرضیات و ساده سازی‌های مطالعه

فرضیات	ملاحظات
کارآیی مدل DRAINMOD-S در منطقه قابل قبول است.	مدل DRAINMOD (رحیمی قباق تپه، ۱۳۷۹) و DRAINMOD-S (ترک زبان، ۱۳۷۹) در منطقه خوزستان ارزیابی شده و کارآیی آن قابل قبول توصیف شده است. ارزیابی بیشتر و کالیبره کردن مدل در منطقه در افزایش اطمینان پذیری نتایج مدل ضروری است.
مهمترین پیامد اقتصادی سیستم زهکشی عملکرد محصول (نیشکر) است.	عمق زهکش بر روی هزینه نصب زهکش های مزرعه، جمع کننده و اصلی اثر قابل ملاحظه‌ای دارد که در این مطالعه از آن صرف نظر شده است.
مطالعه برای کشت اول نیشکر بوده است.	به علت عدم امکان معرفی منحنی ریشه گیاهان چند ساله در مدل DRAINMOD، این فرض جهت استخراج منحنی ریشه از منحنی ضریب گیاهی انجام شده است.
سیستم زهکشی مورد مطالعه در حالت بعد از آبشویی اولیه بوده است.	بسته به اینکه در شرایط آبشویی اولیه، سیستم زهکشی بعد از آبشویی اولیه و سیستم زهکشی به تعادل رسیده باشیم، شوری پروفیل خاک متفاوت خواهد بود. این مسئله به نوعی تفاوت در معیارهای طراحی بهبنه با توجه به اینکه در حالت شرایط طراحی اولیه، بهسازی سیستم و ... باشیم را مطرح می‌سازد.
مهمترین پیامد زیست محیطی سیستم زهکشی بار نمک زهاب بوده است.	ملاحظات قابل توجه دیگر که در این مطالعه امکان سنجش آن نبوده است: – تجمع نمک در پروفیل خاک در دراز مدت. – فرسایش، رواناب و شستشوی کود و ... .
شوری آب زیرزمینی توسط شوری پروفیل خاک به مدل معرفی شده است.	حد آستانه ترسیب نمک با توجه به توصیه ترک زبان (۱۳۷۹)، ۳۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر در نظر گرفته شده است.

نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عمق نصب زهکش بر عملکرد گیاه نیشکر روندهای متفاوتی را دارد. این مسئله خاطر نشان می‌سازد که همواره افزایش عمق نصب زهکش موجب افزایش یکنواخت عملکرد گیاه

نخواهد شد. اسکگز و چشیر (۱۹۹۹) نیز در مطالعات خود به این مسئله اشاره داشته‌اند.

در این مطالعه تنش کم‌آبی در هیچ یک از تیمارها وجود نداشته است. این مسئله به علت حجم بالای آب آبیاری در واحد می‌باشد که قسمتی از این مقدار به منظور کنترل شوری و آبشویی غیر قابل اجتناب است و قسمتی از آن نیز می‌تواند با اصلاح راندمان آبیاری (ارتقای راندمان‌های انتقال، توزیع، کاربرد و ...) و راندمان آبشویی (آبشویی خارج از فصل، تغییر روش آبیاری و...) کاهش یابد. بهبود راندمان آبیاری و کاهش جزئی از آب که بدون کارآیی قابل قبول در آبشویی به زهاب می‌پیوندد، می‌تواند از اثرات سوء زیست‌محیطی طرح‌های زهکشی تا حد زیادی بکاهد (رمضانی اعتدالی و همکاران، ۱۳۸٦).

طبق نتایج مدل DRAINMOD-S، با افزایش عمق نصب زهکش‌ها از ۱۰۰ سانتی‌متر به ۲۱۰ سانتی‌متر تخلیه سالانه نمک از زهکش‌ها از ٦۷/٤ تن بر هکتار به ۱۰۲/۵ تن بر هکتار افزایش داشته است.

در این مطالعه به منظور تلفیق مناسب پیامدهای اقتصادی و زیست‌محیطی عمق نصب زهکش‌های زیر زمینی از مفهوم بهره‌وری آب استفاده شده است. مفهوم بهره‌وری ارائه شده در این مطالعه (بهره‌وری هزینه زیست‌محیطی) صرفاً برای تلفیق اثرات اقتصادی و زیست‌محیطی عمق نصب زهکش‌ها ارائه شده است و از آنجایی که این روش نیاز به قیمت‌گذاری بر روی آب، زهاب و یا اکوسیستم‌های طبیعی ندارد، محدودیت‌های مربوط به لحاظ کردن مسائل زیست‌محیطی در مطالعات اقتصادی را تا حدی کاهش داده است. واضح است که متناسب با اهداف مطالعات مختلف، مفاهیم و روابط مناسب برای بهره‌وری آب با هم متفاوت خواهد بود.

طبق نتایج این مطالعه عمق زهکشی بهینه از لحاظ اقتصادی (عملکرد نیشکر) و زیست محیطی (بار نمک زهاب) برابر ۱۵۰ سانتی‌متر بوده است.

لازم است یادآور شود که نیشکر در خوزستان به مدت ٤ سال زمین را اشغال می کند و جهت جریان آب به مقدار زیادی از بالا به پایین است. بنابراین شوری ثانویه خاک در اثر تبخیر در کشت نیشکر چندان محتمل نیست و ممکن است نتیجه به دست آمده برای سایر گیاهان که دوره رشد کوتاهتری دارند و به ویژه گیاهانی که در تابستان زمین را لخت نگه میدارند صادق نباشد.

با توجه به اثرات قابل توجه عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی در کارآیی طرح‌ها و سیستم‌های زهکشی و اثرات زیست‌محیطی این طرح‌ها، مطالعاتی جامع در سطح مزرعه به منظور تعیین بهترین ترکیب عمق و فاصله زهکش‌ها لازم است که صورت گیرد. طبق نتایج این مطالعه عمق‌های مورد مطالعه باید محدوده عمق زهکش ۱٤۰ سانتی‌متر تا ۲۰۰ سانتی‌متر را تحت پوشش داشته باشد.

فهرست منابع

۱. آذری، ا. لیاقت، ز. دربندی، ص. ۱۳۸۱. زهکشی، کمیت و کیفیت جریان برگشتی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۲. احتشامی، م. اشک تراب، ح. سیاهی، م.ک. ۱۳۷۸. مفاهیم زهکشی و شوری آب و خاک، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

۳. بای بوردی، م. ۱۳۸٤، اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ نهم. ٦٤١ صفحه.

٤. ترک زبان. ۱۳۷۹. ارزیابی و واسنجی مدل DRAINMOD-S تحت شرایط خشک و نیمه خشک ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران.

٥. حاج رسولیها، ش. ۱۳۸۲. کیفیت آب برای کشاورزی (ترجمه)، مرکز نشر دانشگاهی دانشگاه تهران.

٦. رحیمی قباق تپه. محمد. ۱۳۷۹. ارزیابی مدل DRAINMOD و بررسی تاثیر منطقه غیر اشباع خاک بر نوسانات سطح ایستابی در شرایط نیمه خشک خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۷. رمضانی اعتدالی، ه. نظری، ب. لیاقت، ع. ناصری، ع. پارسی نژاد، م. بررسی اثر میزان تلفات انتقال شبکه های آبیاری و زهکشی بر حجم زهابهای کشاورزی (مطالعه موردی واحد میرزا کوچک خان اهواز)، همایش ملی محیط زیست و توسعه پایدار روستا، اسفند ۱۳۸٦

۸. فتحی، ق. ۱۳۷۸. رشد و تغذیه گیاهان زراعی. (ترجمه). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. مشهد ،ایران، ۳۷۲ صفحه.

۹. گزارش سالیانه مرکز تحقیقات نیشکر. ۱۳۸۳ . شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی. اهواز. ایران.

۱۰. گزارش کنترل محصول کشت و صنعت امیرکبیر. (۸٤- ۱۳۸۳). کشت و صنعت امیرکبیر، شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی، اهواز، ایران.

۱۱. مهردادی، ن. عدل، م. زرنکابی، م. ر. ۱۳۸۰. مدیریت کیفیت زه آب های کشاورزی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

12. Ayars, J.E., and S.H. Patton, and R.A. Schoneman. 1987. Drain water quality from arid irrigated lands. P. 220-230 In W.R Johnston (ed.) Proc. 5th Natl. Drain. Symp., Chicago. IL. 13-14 December. ASCE, St. Joseph. MI.
13. Barker, R., Dawe, D., Inocencio, A., 2003. Economics of Water Productivity in Managing Water for Agriculture in "J.W. Kijne, R. Barker and D. Molden., Water Productivity in Agriculture: Limits and Opportunities for Improvement". CAB.
14. Christen, E.W., and Skehan, D., 2001. Design and management of subsurface horizontal drainage to reduce salt load . J. Irrig. Drain. Eng. 127 (3), 148-155.
15. Deverel, S.J., and J.L. Fio. 1990. Ground- water flow and solute movement to

drain laterals, western San Joaquin Valley. California. I. Geochemical assessment. Open-file Rep. 90-136. U.S. Geol. Surv., Sacramento, CA.

16. Gayle, G. A., Skaggs, R.W., Carter, C. E. 1987. Effects of Excessive soil water conditions on sugarcane yields. ASAE. Soil and Water Div. Vol 30 (4), 993-997.
17. Ghaemi, A.A, and Willardson, L.S., 1992. Salt management in a shallow drained soil with an artesian pressure. In: Land Reclamation: Advance in Research and Technology, Proceedings of the international Symposium, 14-15 December, Nashville, Tennessee, ASCE.
18. Gupta, G.P., Prasher, S.O., Chieng, S.T, and Mathur, I.N., 1993. Application of DRAINMOD under semi-arid conditions. Agric. Water Manage. 24, 63–80.
19. Hornbuckle, J.W., Christen, E.W., Faulkner, R.D., 2007. Evaluating a multi-level subsurface drainage system for improved drainage water quality. Agric. Water Manage. 89, 208–216.
20. Kandil, M.H 1992. DRAINMOD-S: A Water Management Model for Irrigated Arid lands. PhD Thesis, North Carolina State University, Raleigh.
21. Manguerra, H.B, and Garicia, L.A. 1997. Modeling flow and transport in drainage areas with shallow ground water. J. Irrig. Drain. Eng. 123 (3), 185-193.
22. Skaggs, R.W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134 of the Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, North Carolina State University, Raleigh, NC.
23. Skaggs, R.W., Chescheir, G.M., 1999. Application of drainage simulation models in " Skaggs, R.W.,Van Schilfgaarde, J., Agricultural Drainage II". Madison, Wisconsin, USA.
24. Wahba, M. A. S., M. El-Ganainny, M. S. Abdel-Dayem, H. Kandil and Atef. Gobran. 2002. Evaluation of DRAINMOD-S for simulating water table management under semi-arid conditions. Irrig. and Drain. 51: 213-216.
25. Wang, X., C. T. Mosley, J. R. Frankenberger and E. J. Kladivko. 2006. Subsurface drain flow and crop yield predictions for different drain spacings using DRAINMOD. Agricultural Water Management. 79: 113–136.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

طراحی بهینه زهکش زیرزمینی برای کاهش شوری زه‌آب

مریم نوابیان[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]

چکیده

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

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

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

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

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

۱ـ مقدمه

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

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

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

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

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

۲ـ مواد و روش‌ها

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

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

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

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

Subject To:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

۳ـ نتایج و بحث

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

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

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

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

فهرست منابع

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

تأثیر نصب سیستم زهکش‌های پلکانی بر وضعیت زهکشی اراضی تحت کشت نیشکر (مطالعه موردی اراضی کشت و صنعت امام خمینی (ره)

عبدعلی ناصری[۱]، سعید حمزه[۲]، حیدرعلی کشکولی[۳]، جعفر آل‌کثیر[۴]

چکیده

در اراضی کشت و صنعت امام خمینی (یکی از واحدهای هفت گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی)، بعد از مطالعات اولیه طراحی، فاصله زهکش‌ها حدود ۷۰ متر برآورد گردید و زهکش‌ها در عمق متوسط ۲/۱ متری نصب گردیدند. اما بعد از ۲ سال که از احداث زهکش‌ها در مزارع این واحد گذشت، مشاهده گردید که متوسط عملکرد محصول، در حدود ۵۰۰ هکتار از اراضی این واحد، کمتر از متوسط عملکرد دیگر مزارع نیشکر می‌باشد. بعد از بررسی‌های اولیه چنین نتیجه شد که فاصله و عمق زهکش‌ها در این مزارع بیش از مقدار لازم بوده و به علت وجود یک لایه با نفوذ پذیری کم در عمق حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتیمتری، زهکش‌های موجود به خوبی عمل نمی‌کنند، جهت رفع این مشکل اجرای زهکش‌های پلکانی پیشنهاد گردید. در این راستا بین هر دو زهکش موجود، یک خط زهکش جدید در عمق متوسط ۱/۲ متری و در بالای لایه محدود کننده، نصب گردید، و فاصله بین زهکش‌ها به ۳۵ متر تقلیل یافت. جهت بررسی‌های تکمیلی و تعیین عملکرد سیستم زهکش‌های پلکانی یکی از مزارع این واحد که در آن زهکش‌های پلکانی با فاصله ۳۵ متر نصب شده‌اند، انتخاب گردید. سپس در مزرعه مورد نظر سه ردیف چاهک مشاهده‌ای در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده مزرعه، نصب گردید. پس از تجهیز چاهک‌ها و انجام

۱- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز abdalinaseri@yahoo.com
۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز saiedhamzeh@yahoo.com
۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز hakashkuli1@yahoo.com
۴- مدیر اداره مطالعات کاربردی کشت وصنعت امام خمینی«ره»،شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی

مطالعات لایه‌بندی، نوسانات سطح ایستابی، دبی آب ورودی و خروجی از مزرعه و ورود و خروج املاح از مزرعه، به صورت روزانه و طی ۳ نوبت آبیاری اندازه‌گیری شد. در نهایت تجزیه و تحلیل داده‌ها و مقایسه مقادیر بدست آمده با استفاده از معادلات و شاخص‌های موجود صورت گرفت. نتایج حاصل از شاخص-های موجود نشان می‌دهند سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی و شوری به خوبی عمل نموده، و مشکل ماندآبی و شوری مزرعه به طور کامل از بین رفته، و مقدار محصول نیز افزایش چشمگیری داشته است. ضمناً تجزیه و تحلیل اندازه‌گیریهای نوسانات سطح ایستابی و مقایسه آنها با مقادیر بدست آمده از معادلات تحلیلی موجود صورت گرفت. نتایج نشان می‌دهد مقادیر بدست آمده از طریق معادلات تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق دارند که علت اصلی آن نیز وضعیت لایه‌ای بودن خاک مزرعه و فرض همگن بودن خاک در معادلات موجود می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: زهکش پلکانی، نوسانات سطح ایستابی، ماندآبی، شوری، نیشکر.

۱- مقدمه

توسعه روز افزون جمعیت و نیاز مبرم به آبیاری سبب شده است که مقادیر قابل توجهی از آب به طرق مختلف هدر رفته و به آب‌های زیرزمینی بپیوندد و نتیجه آن نیز در اکثر موارد ماندابی شدن اراضی و یا شور شدن خاک بوده است. به نحوی که در حال حاضر سالانه حدود ۲ تا ٤ میلیون هکتار از اراضی جهان در اثر شور یا زه‌دار شدن از بین می‌رود (٤). لذا بهره‌برداری مجدد از خاک‌های شور و سدیمی در مناطقی که مورد کشت و آبیاری مداوم قرار داشته‌اند، مستلزم اعمال روش‌های مناسب زهکشی و اصلاح این اراضی خواهد بود. به طور کلی در مطالعات طراحی شبکه‌های زهکشی بدلیل عدم وجود تجربه کافی در منطقه مورد مطالعه از روش‌های توصیه شده در منابع علمی خارجی استفاده میگردد که اغلب نتایج مطلوبی را دربر نداشته است. بهترین راه برای فائق آمدن به این مشکلات، احداث مزارع آزمایشی در منطقه مورد مطالعه و یا ارزیابی طرح‌های مناطق مشابه است. برخی شرایط از قبیل افزایش ضریب زهکشی به علت تغییر الگوی کشت، اشتباه در تعیین فواصل زهکش‌ها در زمان طراحی و یا تغییر مشخصات هیدرولیکی خاک پس از اجرای طرح باعث می‌شوند سیستم زهکشی موجود به خوبی کار نکند و نیاز به اصلاح داشته باشد. یکی از راههای اصلاح چنین سیستمی استفاده از سیستم زهکشی پلکانی است (۸). در این نوع سیستم زهکشی، خطوط زهکش مجاور هم، در دو عمق متفاوت نصب می‌شوند. به نحوی‌که یک سری لوله زهکش به طور یک در میان در ترانشه‌های کم عمق نزدیک به سطح زمین و سری دیگر لوله‌ها در ترانشه‌های عمیق‌تر نصب می‌گردند. با قرار گرفتن زهکش‌ها در دو عمق مختلف حجم حفاری (خاکبرداری و خاکریزی جهت ترانشه) و همچنین هزینه‌های نصب در عمق، به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. بنابراین در مناطق خشک و نیمه خشک دارای صرفه اقتصادی می‌باشد (۷). علاوه بر

این در این نوع سیستم زهکشی نسبت به سیستم زهکشی معمولی از زهکشی بیش از حد بین دو خط زهکش جلوگیری به عمل می‌آید. بنابراین جهت اصلاح اراضی می‌توان با تعیین عمق نصب مناسب زهکش‌ها، یک نوع سیستم زهکشی کنترل شده را در مقایسه با حالت معمولی اجرا نمود. از سوی دیگر با توجه به اینکه دبی خروجی در این حالت کمتر می‌شود مسئله مربوط به دفع زه آب‌های شور و نامناسب به محیط زیست نیز کاهش می‌یابد (۹).

سیستم زهکشی در دو عمق مختلف بر خلاف سیستم متداول، از پیشینه تحقیقات کمی بر خوردار است. دبور و چو (۸) دو معادله تحلیلی، یکی برای جریان پایدار و بر اساس فرضیات دو پویی و فورشهایمر و دیگری با استفاده از روش باور و ون شیلفگارد[1] (۵) برای جریان ناپایدار برای طراحی سیستم زهکش‌های نصب شده در دو عمق مختلف ارائه دادند. سبتی[2] (۱۰) با فرض اینکه سطح اولیه ایستابی به شکل سهمی است، یک روش تحلیلی و یک روش عددی برای پیش بینی جریان ناپایدار سطح ایستابی برای سیستم زهکشی در دو عمق مختلف ارائه نمود و نشان داد که دو روش فوق برای خاک‌های یکنواخت نتایج مشابهی ارائه میدهند. ورما و همکاران[3] (۱۲) با استفاده از معادله خطی بوسینسک، یک معادله تحلیلی برای سیستم زهکشی در دو عمق مختلف بدست آوردند. آنها نشان دادند که ماکزیمم ارتفاع سطح آب پس از یک آبیاری با گذشت زمان به طرف زهکش کم عمق‌تر پیش می‌رود. آپادهیایا و چوهان[4] (۱۱) با در نظر گرفتن میزان تبخیر و تعرق معادله خطی بوسینسک را به صورت تحلیلی حل نمودند. در این معادلات فرض شده است که بین تغییرات سطح ایستابی و ET یک رابطه خطی وجود دارد. آنها راه حل خود را برای حالات مختلف (مقادیر ثابت ET، تغییر ET با عمق و ET=0) گسترش دادند. سپس حالت خاصی از راه حل پیشنهادی خود را (ET=0) با راه حل ارائه شده توسط ورما و همکاران (۱۲) مقایسه کردند، و مقادیر یکسان افت سطح ایستابی مشاهده گردید.

در ایران رحیمی خوب و همکاران (۳) یک مدل ریاضی از طریق روش عددی تفاضل‌های محدود برای پیش‌بینی وضعیت سطح ایستابی بین دو زهکش زیرزمینی که در دو عمق مختلف نصب شده‌اند، ارائه دادند. آنها نتایج مدل خود را با نتایج مزرعه‌ای ورما و همکاران (۱۲) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بدست آمده توسط آنها نشان می‌دهد که مدل‌های ریاضی دو بعدی نسبت به روش‌های تحلیلی از دقت بیشتری برخوردارند. علاوه براین آنها در مدل خود تاثیر جریان‌های عمودی در افت سطح ایستابی را مورد بررسی قرار دادند و مشخص گردید، در خاک‌هایی که هدایت هیدرولیکی عمودی خاک قابل توجه است، استفاده از مدل‌هایی که در آنها فقط مولفه افقی جریان آب را در نظر می‌گیرند، سطح ایستابی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد می‌کنند .

1- Bouwer and Van Schilfgaarde
2- sabti
3- Verma et al
4- Upadhyaya and Chauhan

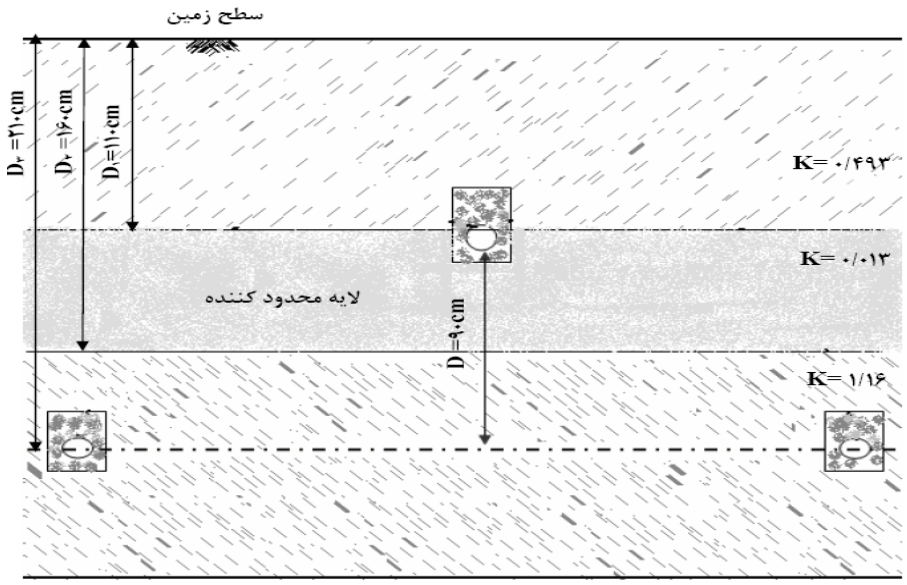
جهت طراحی و نصب زهکش‌های پلکانی و تعیین نوسانات سطح ایستابی و دبی خروجی از زهکش‌ها فرمول‌ها و روش‌های مختلفی ارائه شده است. می‌توان با بهره جستن از این روش‌ها و ارزیابی عملکرد زهکش‌های اجرا شده و بررسی نقاط ضعف و قوت آنها، نگاهی جامع‌تر برای طرح‌های آینده در اختیار برنامه ریزان و طراحان قرار داد. در این مقاله عملکرد زهکشهای پلکانی احداث شده در اراضی کشت وصنعت امام خمینی واقع در شعیبیه شوشتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

این تحقیق در واحد امام خمینی (ره) یکی از واحدهای هفتگانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی به اجرا درآمد. منطقه مورد مطالعه در ٤٠ کیلومتری جنوب شهرستان شوشتر و ٥٠ کیلومتری شمال اهواز قرار گرفته است. اراضی این واحد به قطعات منظم ۲۵ هکتاری (۱۰۰۰×۲۵۰ m) تقسیم شده است. و مجموعاً دارای ٤٨٠ مزرعه ۲۵ هکتاری می‌باشد.

۲-۱- نصب زهکش‌های پلکانی

بعد از مطالعات اولیه طراحی، فاصلهٔ زهکش‌ها در اکثر اراضی کشت و صنعت امام خمینی ۷۰ متر برآورد گردید و زهکش‌ها نیز با همین فاصله و در عمق متوسط ۲/۱ متری نصب گردیدند، اما بعد از چند سال که از احداث زهکش‌ها در این مزارع گذشت، مشاهده گردید که متوسط عملکرد محصول در حدود ٥٠٠ هکتار از اراضی، کمتر از متوسط عملکرد دیگر مزارع نیشکر می‌باشد. لذا جهت بررسی‌های دقیق و اجمالی و پیدا کردن منشاء اصلی مشکل یکی از مزارع مورد نظر (مزرعه SC3-1) انتخاب گردید و مطالعات تکمیلی صورت گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌های تکمیلی به کمک دستگاه نفوذسنج گلف برای سه پروفیل حفر شده در مزرعه مذکور نشان داد که در عمق ۱۰۰ تا ۱۵۰ سانتیمتری هدایت هیدرولیکی لایه خاک نسبت به لایه بالاتر بین ۱۰ تا ٤٠ برابر کاهش داشته است. این پدیده موجب شده بود که لایه تحتانی به‌عنوان یک لایه محدود کننده (لایه نفوذ ناپذیر) عمل نماید. علی‌رغم وجود زهکش‌های زیرزمینی در عمق ۲/۱ متری از سطح زمین در این اراضی، در اثر استقرار این زهکش‌ها در زیر لایه محدود کننده شرایط زهکشی تکافوی نیاز طرح نبوده، و در نتیجه آن ماندابی و شور شدن لایه سطحی این اراضی اتفاق افتاده بود. در اثر ماندابی و شور شدن لایه سطحی و بر اثر آن کاهش محصول، بهره برداری از این اراضی را غیراقتصادی کرده بود. پس از بررسی‌های مذکور برای حل مشکل، مقرر گردید که سه لترال جدید در عمق متوسط ۱/۲ متری سطح زمین و در فواصل بین چهار لترال قدیمی نصب گردد. شکل (۱) وضعیت استقرار زهکش‌های عمیق و جدید نسبت به لایه محدود کننده را نشان می‌دهد.



شکل(۱): موقعیت و محل قرار گیری زهکش‌ها و لایه‌های خاک.

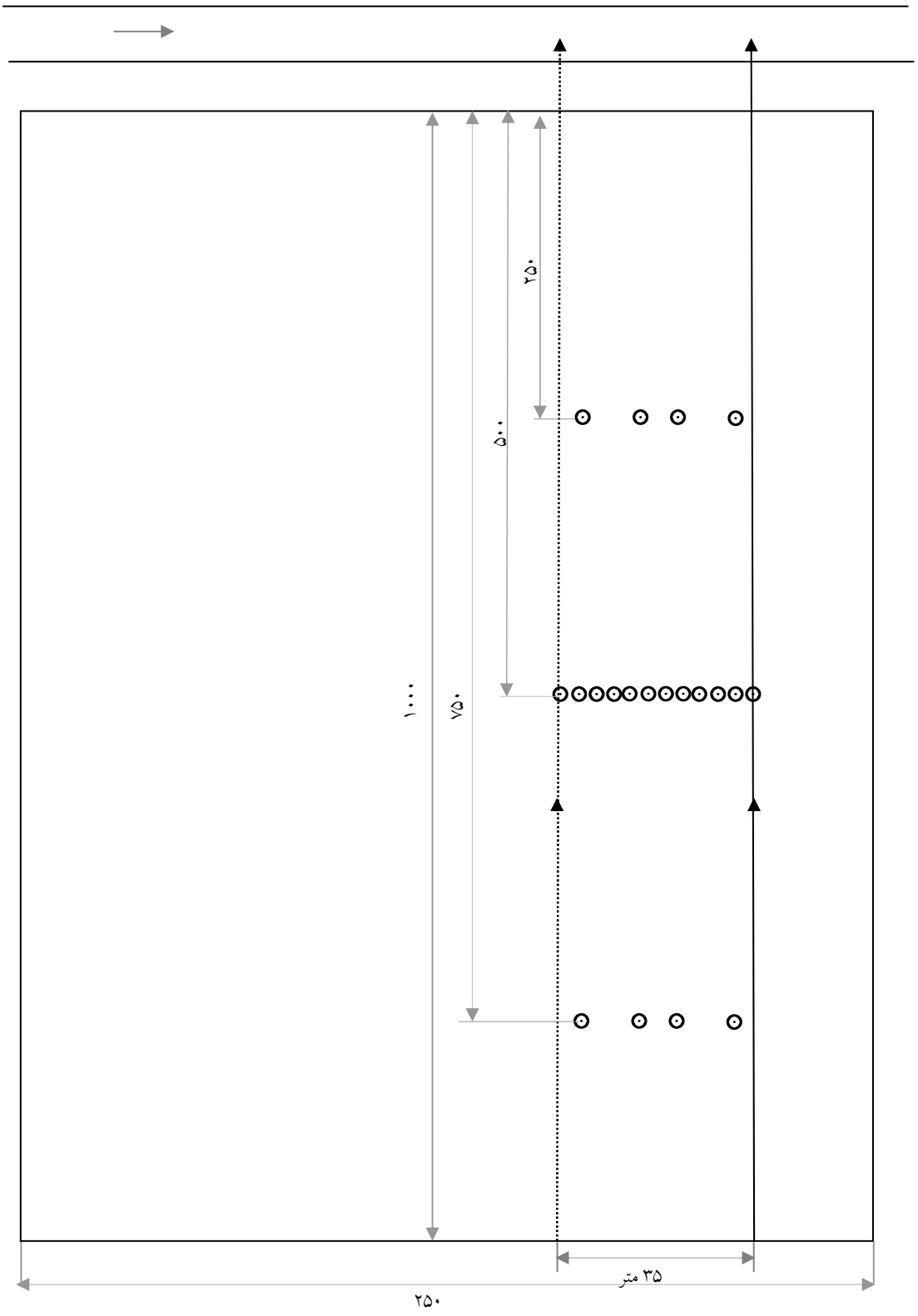
پس از نصب زهکش‌های جدید، به منظور دفع نمک‌های اضافی از پروفیل خاک، در تاریخ ۸۱/۱۰/۲٦ عملیات آبشویی مزرعه آغاز گردید. این مزرعه در تاریخ ۸۲/۲/۵ قطع آب کامل گردید. جمعاً ۱/۰۵ متر آب به این مزرعه جهت آبشویی املاح تجمع یافته در پروفیل این اراضی، به خاک اضافه شد. سپس مزرعه مذکور برای کشت نیشکر در شهریور ماه ۱۳۸۲ آماده شد. پس از تهیه زمین، سه واریته نیشکر در این مزرعه کشت شد. سپس جهت تکمیل ارزیابی، مطالعه سطح آب زیرزمینی مورد توجه واقع گردید.

۲-۲- جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز

جهت بررسی روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی در مزرعه مورد نظر تعداد ۲۰ عدد چاهک مشاهده‌ای در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده مزرعه ودر فواصل دو لترال (لترال‌های عمیق و کم‌عمق) نصب گردید (شکل ۲). به نحوی که در هر یک از فواصل ۲۵۰ و ۷۵۰ متری از جمع کننده روباز مزرعه، ٤ عدد چاهک مشاهده‌ای به فواصل ۵ و ۱۵ متری از زهکش‌های عمیق و کم عمق نصب گردید شکل(۳). در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی، ۱۲ عدد چاهک مشاهده‌ای نصب گردید. محل استقرار چاهکها روی خود لوله‌های زهکش و به فاصلهٔ ۰/۵ متری و ۱/۵ متری از آنها، و سایر چاهک‌ها نیز در فاصله بین دو خط زهکش عمقی و کم‌عمق و به فواصل ۵ متری از یکدیگر نصب گردیدند (شکل ٤). در نهایت با استفاده از دوربین نقشه‌برداری محل چاهک‌ها نسبت به بنچ مارک محل ترازیابی شد.

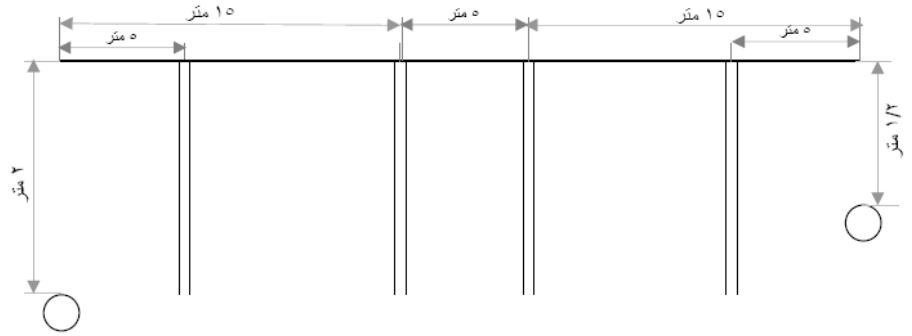
پس از تجهیز چاهک‌ها و فراهم‌آمدن امکان قرائت سطح ایستابی، نوسانات سطح ایستابی و دبی آب خروجی از مزرعه به طور روزانه از تاریخ ۱۳۸٦/٤/۱ تا ۱۳۸٦/۵/۳ به مدت سه دوره آبیاری ثبت شدند. جهت قرائت سطح آب درون چاهک‌ها از عمق سنج الکتریکی استفاده گردید و اندازه‌گیری دبی خروجی از زهکش‌ها نیز از روش حجمی و با استفاده از یک سطل و کورنومتر به صورت روزانه و در سه نوبت

صبح، ظهر و عصر صورت گرفت. همچنین جهت تعیین لایه‌بندی و اندازه‌گیری ضرائب آبگذری خاک مزرعه آزمایشی در نقاط مختلف، جمعاً در ۳ ایستگاه به فواصل ۲۵۰ ، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از کلکتور و در هر ایستگاه ۳ چاهک با اعماق ۱۱۰، ۱۷۰ و ۲۵۰ سانتیمتری، حفاری شد. در روز بعد از آبیاری هدایت هیدرولیکی اشباع کلیه چاهک‌ها با سه تکرار و از طریق روش ارنست تعیین گردید. لازم به یادآوری است که قبل از نصب زهکشهای پلکانی، جهت تعیین دقیق هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های فوقانی خاک از نتایج بدست آمده از روش پرمامتر گلف برای اعماق cm ۱۰۰-۰ و cm۱۵۰-۱۰۰ استفاده گردید.

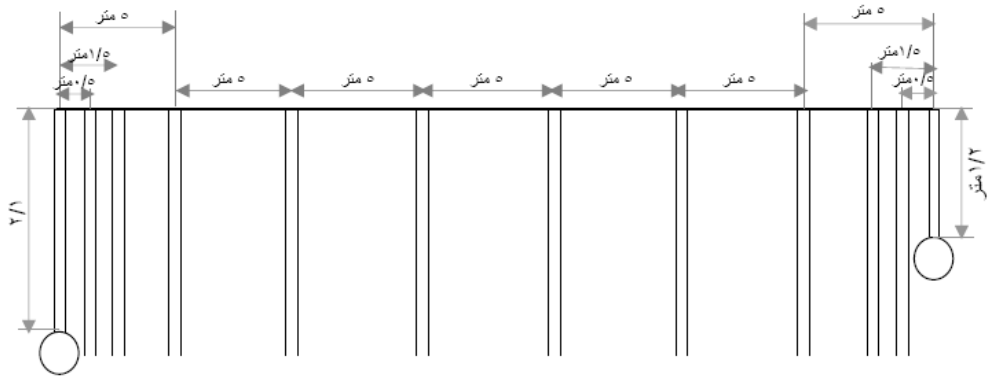


شکل (۲) موقعیت استقرار چاهک‌های مشاهده‌ای در مزرعه

در زمان اندازه‌گیری دبی آب آبیاری و دبی خروجی زهکش‌ها، از آب آنها برای به دست آوردن مقدار EC، نمونه‌برداری به عمل آمد و بعد از انتقال به آزمایشگاه، توسط دستگاه EC متر، میزان شوری آب آبیـاری و زه‌آب خروجی از زهکش‌های زیرزمینی اندازه‌گیری شد.



شکل (۳): محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده‌ای نسبت به لوله‌های زهکش
در فواصل ۲۵۰ و ۷۵۰ متری از کلکتور



شکل (٤): محل قرارگیری چاهک‌های مشاهده ای نسبت به لوله‌های زهکش
در فاصله ۵۰۰ متری از کلکتور

در نهایت جهت تعیین روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی، با استفاده از داده‌های برداشـت شـده از قرائـت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای، تغییرات پروفیل سطح ایستابی در فاصله بین زهکش‌های عمیـق و کـم عمق نسبت به زمان و مکان و در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از محل خروجـی لاتـرال‌هـا بـه کلکتـور، ترسیم شد و این مقادیر با مقادیر بدست آمده از معادله تحلیلی آپادهیا و چوهـان (۲۰۰۰) مـورد ارزیـابی قرار گرفت. معادله عمومی ارائه شده توسط این دو محقق به صورت زیر می‌باشد.

$$h(X,t)=-\frac{2}{\pi}e^{-\left(bt/f\right)}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\sin\beta_n X\left[(-h_0)e^{-\alpha\beta_n^2 t}+\frac{1}{f}(E_0-bh_0)\left(\frac{e^{bt/f}-e^{-\alpha\beta_n^2 t}}{\left(b/f\right)+\alpha\beta_n^2}\right)\right]\left[1-(-1)^n\right]$$
$$+\frac{2}{\pi}e^{-\left(bt/f\right)}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}(-1)^n\sin\beta_n X\left[h_1e^{-\alpha\beta_n^2 t}+\frac{bh_1}{f}\left(\frac{e^{bt/f}-e^{-\alpha\beta_n^2 t}}{\left(b/f\right)+\alpha\beta_n^2}\right)\right]+\frac{X}{L}h_1 \qquad (۱)$$

در معادله فوق، h_0 سطح اولیه ایستابی می‌باشد که در زمان صفر افقی فرض می‌شود، h ارتفاع سطح ایستابی بالای محور زهکشی در زمان t با بعد (L)، k متوسط هدایت هیدرولیکی منطقه جریان (L/T)، f تخلخل قابل زهکشی سفره آبخوان (بدون بعد)، x فاصله افقی از مبدا مختصات زهکشی (فاصله از زهکش عمقی) (L)، t زمان سپری شده از شروع افت سطح ایستابی (T) و h_1 فاصله عمودی بین دو زهکش با بعد (L)، E_0 میزان تبخیر و تعرق در سطح خاک با بعد (LT^{-1})، b شیب تغییرات تبخیر و تعرق با بعد (T^{-1})، $\alpha = KD/f$ و $\beta n = n\pi/L$ می‌باشد. جهت انجام محاسبات و تعیین پروفیل سطح ایستابی، معادله فوق به صورت یک برنامه کامپیوتری درمحیط برنامه نویسی MATLAB و جهت محاسبه فاصله زهکش‌های پلکانی یک برنامه کامپیوتری به زبان برنامه نویسی Fortran نوشته شد.

همچنین جهت سنجش دقیق‌تر رفتار معادله در طول پروفیل سطح ایستابی، منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل نیز به صورت بی‌بعد (برحسب x/L) ترسیم شد و مورد بررسی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری خطا در موارد ذکر شده رابطهٔ زیر مورد استفاده قرار گرفت:

$$\%Error=\frac{X_O-X_C}{X_O}\times 100 \qquad (۲)$$

که در آن Xo مقدار مشاهده شده در مزرعه و Xc مقدار برآورد شده توسط معادله تحلیلی می‌باشد.

۳- نتایج و بحث:

جهت ارزیابی نحوه عملکرد سیستم زهکشی پلکانی مزرعه مورد مطالعه از شاخص‌های مختلف موجود در این زمینه استفاده گردید. که در زیر نتایج حاصل از داده‌های برداشت شده از مزرعه، و مقادیر بدست آمده از شاخص‌های موجود در هر قسمت ارائه شده است.

۳-۱- لایه بندی و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

نتایج حاصل از تعیین هدایت هیدرولیکی و لایه بندی خاک نشان می‌دهند که خاک مزرعه مورد نظر از سه لایه با مقادیر مختلف هدایت هیدرولیکی تشکیل شده است که نتایج آن در جدول (۱) آمده است.

جدول (۱) : نتایج حاصل از اندازه گیری هدایت هیدرولیکی اشباع خاک

عمق خاک (cm)	روش چاهک (ارنست) (m/day)			روش پرامتر گلف (m/day)		
	ایستگاه(۱)	ایستگاه(۲)	ایستگاه(۳)	ایستگاه(۱)	ایستگاه(۲)	ایستگاه(۳)
۰–۱۰۰	–	۰/۹٦۹	۰/٤۳۹	۰/۷۱۲	۰/۲۳۷۸	۰/۷۱
۱۰۰–۱۵۰	–	۰/۰۲۷۹	۰/۰۱۹۸	۰/۰۱٤۳	۰/۰۲۸۲	۰/۰۰۵۷
۱۵۰–۲۵۰	۱/۲٦	۱/۱۷	۱/۰۷	–	–	–

لذا با توجه به جدول فوق، در این تحقیق جهت انجام محاسبات، برای لایه‌های اول و دوم از داده‌های پرامتر گلف و برای لایه سوم از داده‌های چاهک استفاده گردید. که بدین منظور برای هر لایه از میانگین هندسی مقادیر بدست آمده استفاده گردید. بنابراین میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی سه لایه برابر با ۰/۹۸ (متر بر روز) بدست آمد. ومقدار μ با توجه به گرافی که ارتباط بین ضریب آبگذری و آبدهی ویژه را نشان می‌دهد و با در نظر گرفتن هدایت هیدرولیکی دو لایه فوقانی که نوسانات سطح ایستابی در این محدوده اتفاق می‌افتد برابر ۵ درصد بدست آمد.

۳-۲- عمق کنترل سطح ایستابی

در مطالعات اولیه طرح توسعه نیشکر عمق کنترل سطح ایستابی جهت جریانهای غیر ماندگار ۱/۲ متر در نظر گرفته شده است. این در حالی است که به دنبال عملکرد نامناسب زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی براساس مطالعات صورت گرفته تغییرات سطح ایستابی اندازه‌گیری شده در سال‌های ۱۳۸۰ و ۸۱ از طریق چندین چاهک مشاهده‌ای در قسمت‌های مختلف مزرعه در طول دوره آبیاری نیشکر نشان می‌دهد که عمق سطح ایستابی به طور متوسط کمتر از یک متر بوده است. بالا آمدن سطح ایستابی موجب افزایش شوری لایه سطحی شده که برای حل مشکل، سیستم زهکش پلکانی نصب گردید. جهت بررسی عملکرد سیستم جدید بر کنترل سطح ایستابی با توجه به متوسط مقادیر قرائت شده در چاهک‌های واقع در فواصل ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ متری از کلکتور منحنی‌های نوسانات عمق سطح ایستابی در فواصل مختلف از کلکتور و برای سه دوره آبیاری رسم گردید. منحنی‌های مزبور درشکل‌های (۵) تا (۷) ارائه شده است.

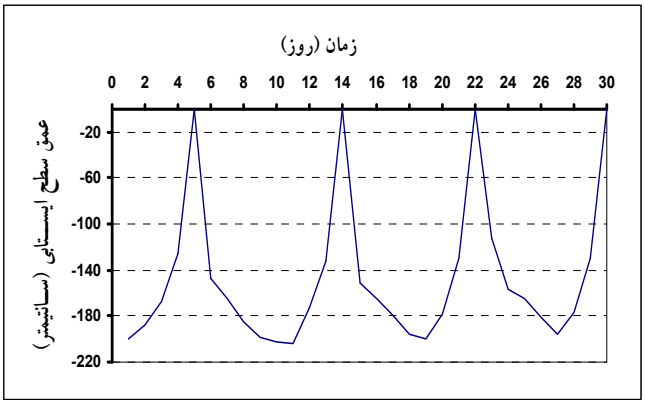
همچنین جهت ارزیابی عملکرد زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی از شاخص RGWD (عمق نسبی آب زیرزمینی)[1] استفاده کرد که به صورت زیر تعریف می‌شود (۱۳):

$$RGWD \quad \frac{\text{متوسط عمق سطح ایستابی در طول فصل}}{\text{عمق مطلوب سطح ایستابی در طول فصل}} \qquad (۳)$$

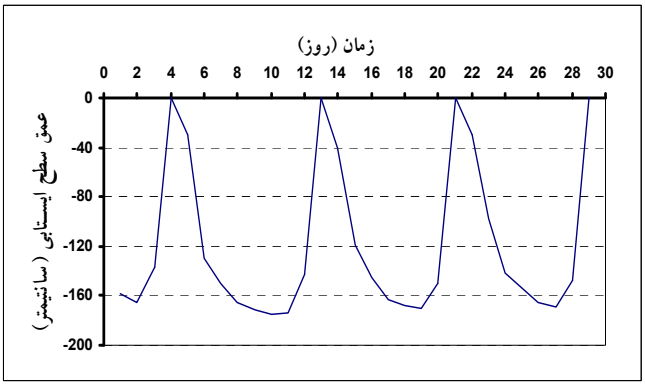
1- Relative Ground Water Depth

مقدار بهینه و مطلوب این شاخص یک است و می‌تواند در محدوده ۰/۸ تا ۱/۲ قرار گیرد که مقادیر زیاد آن نشان دهنده زهکشی زیاد و مقادیر کمتر از حد آن به معنی زهکشی ضعیف است. مقادیر این شاخص، با در نظر گرفتن عمق مطلوب سطح ایستابی برای کشت نیشکر معادل ۱/۲ متر، در فواصل مختلف از کلکتور و همچنین متوسط مقادیر در کل طول لاترال محاسبه گردید، که نتایج در جدول (۲) آورده شده است.

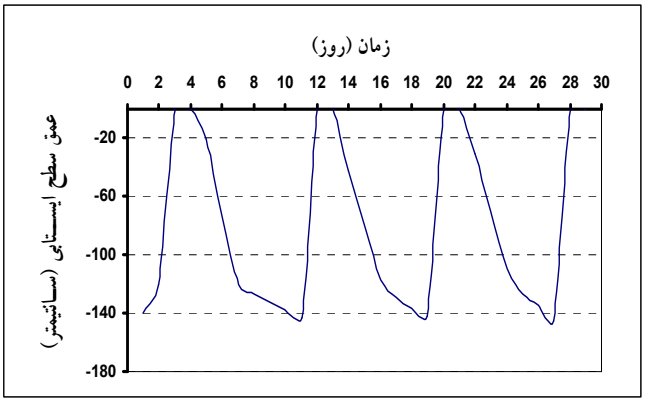
همچنان‌که از نتایج جدول (۲) و شکل‌های (۵) تا (۷) مشخص است زهکش‌ها در کنترل سطح ایستابی به‌خوبی عمل نموده‌اند. اگر چه تجربه نشان داده است که توسعه ریشه نیشکر در حدود ۰/۸ متر صورت میگیرد و عمق کنترل سطح ایستابی در حدود یک متر کفایت می کند. نکتهٔ دیگری که از نتایج مشهود می‌باشد این است که عمق سطح ایستابی به سمت کلکتور یا محل تخلیه لاترال، بیشتر می‌شود که دو دلیل اصلی این امر یکی افزایش عمق به سمت کلکتور و دیگری نقش کلکتورها یا جمع‌کننده‌های روباز در کنترل سطح ایستابی است که در طراحی‌ها این نقش در نظر گرفته نمی‌شود.



شکل (۵)- نوسانات عمق سطح ایستابی در فاصله ۲۵۰ متری از کلکتور



شکل (٦)- نوسانات عمق سطح ایستابی در فاصله ۵۰۰ متری از کلکتور



شکل (۷)- نوسانات عمق سطح ایستابی در فاصله ۷۵۰ متری از کلکتور

جدول(۲): نتایج شاخص RGWD در مزرعه آزمایشی

فاصله از کلکتور	۲۵۰ متر	۵۰۰ متر	۷۵۰ متر	متوسط طول لترال
متوسط عمق سطح ایستابی در طول دوره	۱۵۲	۱۲۲	۸۱	۱۱۸/۳
مقدار شاخص RGWD	۱/۲۶	۱/۰۱	۰/۶۷	۰/۹۹
عملکرد سیستم در کنترل سطح ایستابی	خوب	خوب	متوسط	خوب

۳-۳- بررسی میزان نمک ورودی و خروجی از مزرعه (ناحیه ریشه)

جهت ارزیابی سیستم زهکشی در کنترل نمک، شاخص SEI (شاخص نمک خروجی)[1] به کار برده شد، که به صورت رابطه (٤) در زیر تعریف می‌گردد:

$$SEI = \frac{(\text{نمک خروجی} - \text{نمک ورودی})}{(\text{نمک ورودی})} \qquad (٤)$$

مقدار این شاخص بایستی در طول اجرای سیستم کمتر یا مساوی صفر باشد (یعنی نمک خروجی بیشتر از نمک ورودی باشد). شاخص SEI برای مزرعه مورد نظر برای سه نوبت آبیاری مورد مطالعه و به صورت متوسط دوره محاسبه گردید که نتایج آن در جدول (۳) آمده است. در تعیین این شاخص حاصل

1. Salt Export Indicator

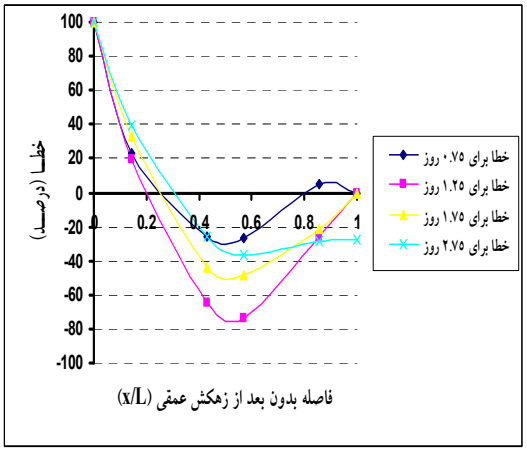
ضرب متوسط شوری آب آبیاری (dS/m) در میزان حجم آب ورودی به مزرعه در طول دوره (m^3) ضرب در ۰/۰٦٤ به عنوان نمک ورودی (Kg)، و متوسط شوری زه آب خروجی (dS/m)، ضرب در حجم زه‌آب خروجی در طول دوره ضرب در ۰٦٤/ ، نیز به عنوان نمک خروجی در نظر گرفته شده است. با توجه به نتایج جدول (۳) در هر سه نوبت آبیاری و در کل دوره داده برداری که در زمان پیک دوره آبیاری مزارع نیشکر بوده، این شاخص منفی و دارای مقدار متوسط ۲/۱۱۹- بوده است. که این امر نشان دهندهٔ عملکرد مناسب سیستم زهکش‌های پلکانی در خروج نمک از ناحیه ریشه می‌باشد. در حالی که بر اساس گزارشات موجود قبل از احداث این زهکش‌ها زمین با مشکل اساسی ماندآبی و شوری همراه بوده است.

جدول(۳): نتایج شاخص SEI در مزرعه آزمایشی

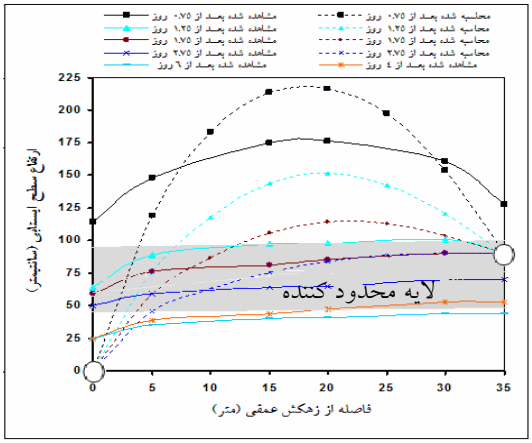
نوبت آبیاری	کل نمک ورودی (Kg) V(in)×EC(in)	کل نمک خروجی (Kg)	میزان شاخص SEI
آبیاری اول	۲٤٥۱/٤٥	۹۰۹۷/۷۰	-۲/۷۱۱
آبیاری دوم	۲٥۷۷/٥٤	۸٤۲٦/٥۸	-۲/۲٦۹
آبیاری سوم	۳۰٦۱/۸٤	۸۲۸٦/۹۰	-۱/۷۰٦
مجموع دوره	۸۰۹۰/۸٤	۲٥۸۱۱/۱۹	-۲/۱۱۹

۳-۴- روند تغییرات پروفیل سطح ایستابی

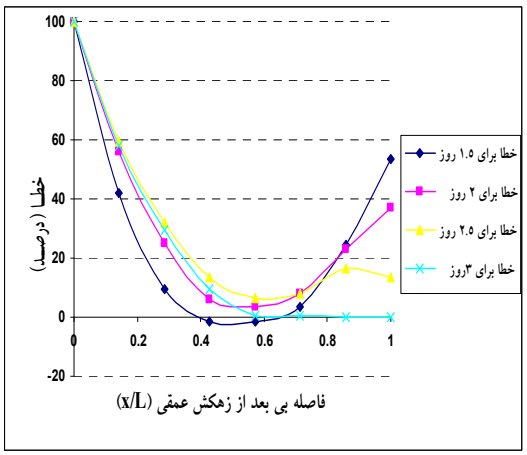
شکل‌های (۸) تا (۱۳) موقعیت پروفیل سطح ایستابی واقعی بدست آمده از قرائت سطح آب در چاهک‌های مشاهده‌ای و سطح ایستابی محاسبه شده توسط معادله (۱) با توجه به داده‌های برداشت شده از مزرعه آزمایشی، و نیز منحنی نحوه تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی را نشان می‌دهند. همچنین جهت بهتر نشان دادن نتایج، موقعیت لایه محدود کننده جریان در نمودارها به صورت پس زمینه نشان داده شده است.



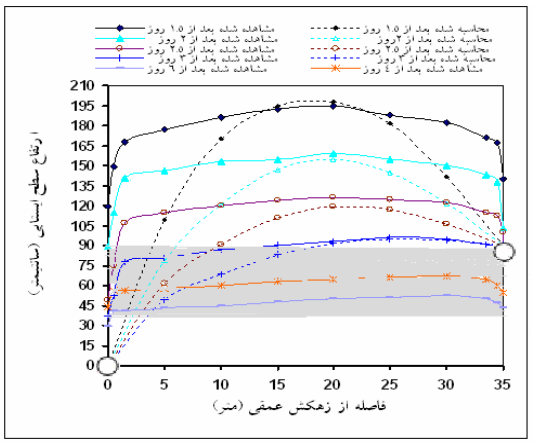
شکل(۹)-منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی در فاصله ۲۵۰ متری از خروجی



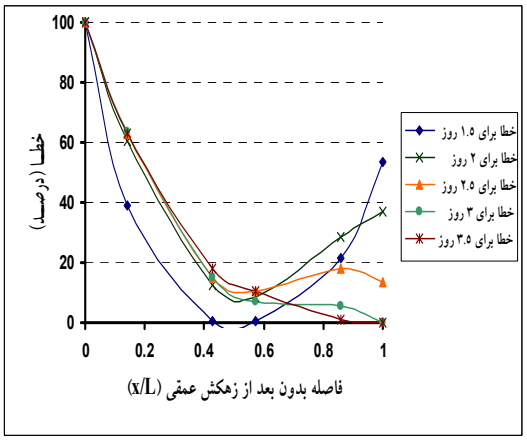
شکل(۸)-پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده در فاصله ۲۵۰ متری از خروجی



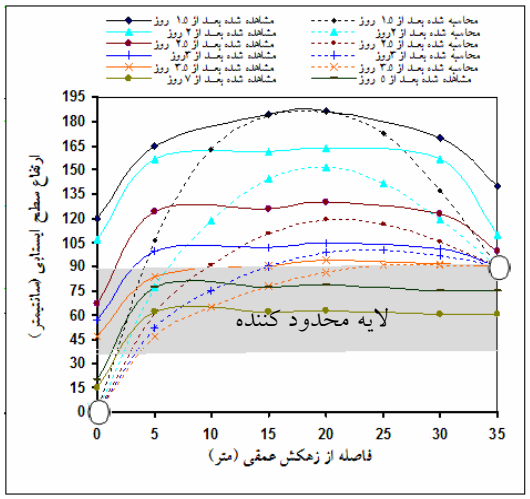
شکل(۱۱)-منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی



شکل(۱۰)-پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده در فاصله ۵۰۰ متری از خروجی



شکل(۱۳)-منحنی تغییرات خطا در طول پروفیل سطح ایستابی در فاصله ۷۵۰ متری از خروجی



شکل(۱۲)-پروفیل سطح ایستابی مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده در فاصله ۷۵۰ متری از خروجی

نکات و مواردی که در این مقادیر، شکل‌ها و نحوه تغییرات آنها مشاهده می‌شود و دلایل ممکن آنها را می‌توان به طور کلی به صورت زیر برشمرد:

الف) توزیع زمانی و مکانی پروفیل سطح ایستابی:

همان‌طور که ملاحظه می‌گردد نقطه ماکزیمم ارتفاع سطح آب پس از یک آبیاری با گذشت زمان از نقطه میانی بین دو زهکش به طرف زهکش کم‌عمق پیش می‌رود و زمانی که به ارتفاع نصب زهکش کم‌عمق می‌رسد، دبی جریان آب در زهکش کم عمق صفر شده و عملاً این زهکش از کار می‌افتد و زهکشی خاک توسط زهکش‌های واقع در عمق یکسان اما با فاصله دو برابر فاصله زهکش‌های پلکانی صورت می‌گیرد.

ب) عوامل ایجاد اختلاف بین نتایج بدست آمده و مقادیر مشاهده شده در مزرعه:

چنانکه مشاهده می‌گردد منحنی‌های بدست آمده از طریق معادله تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی (نقاط وسط بین دو خط زهکش) با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق دارند. این نکته از روی منحنی خطاها برای هر وضعیت نیز مشاهده می‌گردد. دلایل ممکن این تغییرات را می‌توان این‌گونه بیان کرد:

به طور ساده مدل‌های تحلیلی معمولاً برای مسائل ساده و تک‌بعدی به کار برده می‌شوند و به دلیل استفاده از فرضیات ساده کننده در حل این معادلات، نتایج به دست آمده از آنها با شرایط طبیعی کاملاً سازگار نمی‌باشد . این امر دلیل اصلی ایجاد خطا بین نتایج بدست آمده و مشاهده شده می‌باشد، که از جمله مهم ترین این فرضیات و خطای ایجاد شده توسط آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- در نظر گرفتن ایزوتروپ و همگن بودن خاک موجود در بالای لایه غیر قابل نفوذ.

یکی از محدودیت‌ها و فرضیات اصلی جهت بدست آوردن معادلات مناسب برای زهکش‌های موازی از طریق حل تحلیلی معادله بوسینسک، همگن و ایزوتروپ بودن خاک موجود در بالای لایه غیر قابل نفوذ می‌باشد. لذا در جاهایی که خاک مزرعه مورد نظر مطبق می-باشد، به ناچار جهت انجام محاسبات از طریق این معادلات مجبور به استفاده از میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی لایه‌های مختلف می‌باشیم. که البته این موضوع باعث ایجاد خطا و اختلافی در مقادیر واقعی و محاسبه شده می‌گردد. این موضوع یکی از ضعف‌های بزرگ این قبیل معادلات تحلیلی می‌باشد. همانطور که اشاره شد بعد از انجام مطالعات اولیه خاک شناسی مشخص شد که خاک مزرعه آزمایشی مورد نظر از سه لایه با ضرایب آبگذری مختلف تشکیل شده است. که این مسئله باعث تغییر الگوی مسیر خطوط جریان به سمت زهکش‌ها می‌گردد. این لایه مخصوصاً مانع نفوذ عمودی آب می‌گردد و به دلیل افزایش مقاومت خاک در برابر مسیر جریان آب، باعث می‌شود وضعیت خطوط جریان از حالت شعاعی خارج شده و به صورت افقی باشد که این وضعیت در نزدیکی لوله‌های زهکش افزایش می‌یابد. اما به دلیل عدم وجود معادله و برنامه مناسبی برای این حالت خاص که بتوان در آن وضعیت لایه ای بودن خاک را منظور نمود جهت انجام محاسبات و بررسی نحوه تغیرات پروفیل سطح ایستابی از طریق معادلات تحلیلی موجود از میانگین وزنی هدایت هیدرولیکی لایه‌های

مختلف استفاده شد. که این موضوع یکی از دلایل مهم اختلاف موجود بین مقادیر مشاهده شده در مزرعه و محاسبه شده توسط راه حل تحلیلی مورد نظر می‌باشد.

۲- عدم در نظر گرفتن مقاومت‌های شعاعی و ورودی جریان به درون زهکش‌ها :

همانطور که قبلاً اشاره شد جهت تعیین معادلات در سیستم‌های زهکشی جهت ساده سازی انجام محاسبات یک سری فرضیات خاص در نظر گرفته می‌شود که یکی از این قبیل فرضیات مربوط به زهکش آرمانی این است که زهکش به صورت نیمه پر و بدون مقاومت ورودی در برابر جریان، عمل می‌کند (در شرایط ایده آل $h_e=0$ است). و بطور کلی فرض می‌شود که مواد همجوار زهکش (مواد پوششی و خاک‌های ریخته شده به درون ترانشه) در مقایسه با خاک دست نخورده دارای آن‌چنان هدایت هیدرولیکی بالایی است که می‌توان از مقاومت ورودی به درون زهکش چشم پوشی نمود. اما تجربیات عملی نشان داده است که این موضوع همواره صادق نیست و عملاً عمق آب در لوله از کاملاً پر تا خالی کامل متغیر است و این مسأله هنوز نیاز به تحلیل‌های نظری و تجربی بیشتری دارد زیرا در شرایطی ممکن است مقادیر قابل توجهی مقاومت ورودی وجود داشته باشد.

این معادلات همچنین مقاومت شعاعی جریان ورودی به زهکش‌ها در لایه‌های بین عمق نصب زهکش تا لایه غیر قابل نفوذ (تقارب خطوط جریان) را به حساب نمی‌آورند و جهت لحاظ نمودن افت بار و همگرایی خطوط جریان در نزدیکی زهکش‌ها، عمق معادل (d)، به جای عمق واقعی لایه غیر قابل نفوذ به کار گرفته می‌شود. طبق نظرات وان شیلف‌گارد، کاربرد عمق معادل هوگهات به جای عمق واقعی تا لایه غیر قابل نفوذ، می‌تواند تا حدی ضعف معادلات دیفرانسیل اولیه را در مورد همگرایی خطوط جریان را جبران کند اما به طور کامل ضعف معادلات مورد نظر را جبران نکرده و هم چنان مقادیری خطا در انجام محاسبات مورد نظر وجود خواهد داشت.

۳- در نظر گرفتن فرضیات دوپویی و فرشهایمر جهت حل معادلات:

اکثر معادلات زهکشی مبتنی بر فرضیات دوپوئی و فورشهایمر هستند. این فرضیات ما را قادر می‌سازد تا با در نظر گرفتن خطوط جریان به صورت افقی و موازی، جریان دو بعدی را یک جریان یک بعدی فرض نماییم. که البته هنگامی که زهکش‌ها به فاصله بسیار کمی از لایه غیر قابل نفوذ و یا روی آن قرار گرفته باشند، چنین جریانی رخ خواهد داد و با دور شدن فاصله زهکش‌ها از لایه غیر قابل نفوذ اختلاف از این حالت نیز افزایش می‌یابد. این قبیل فرضیات باعث می‌شود که معادلات تحلیلی موجود مقادیر ارتفاع سطح ایستابی را کمتر از حالت واقعی محاسبه کنند و باعث ایجاد خطا در مقادیر واقعی و محاسبه شده می‌شوند. در این تحقیق نیز با توجه به اینکه براساس محاسبات انجام شده در زیر عمق نصب زهکش‌ها لایه غیر قابل نفوذی مشاهده نگردیده طبق مباحث گفته شده این مقادیر خطا بیشتر خواهد بود. و می‌تواند یکی از دلایل عدم همخوانی مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده باشد.

٤- در نظر گرفتن سطح اولیه ایستابی به صورت یک خط افقی :

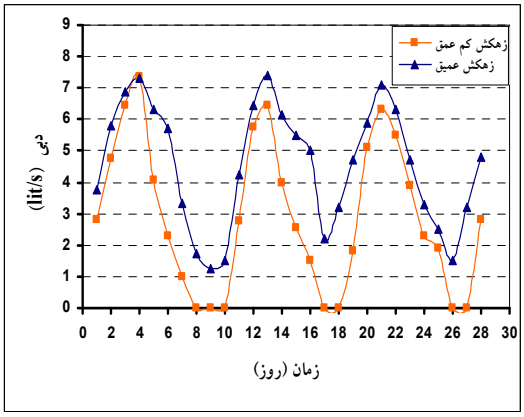
یکی دیگر از فرضیات در نظر گرفته شده توسط آپادهیا و چوهان (۲۰۰۰) جهت حل تحلیلی معادله بوسینسک برای زهکش‌های پلکانی این بود که شکل سطح ایستابی قبل از آغاز مرحله زهکشی یعنی در زمان صفر افقی بوده و این سطح در لحظه شروع زهکشی منطبق بر سطح زمین می‌باشد. در صورتی که تحت شرایط واقعی شکل اولیه سطح ایستابی افقی نبوده و شکل واقعی سطح اولیه ایستابی به صورت تابع پارابولیک است. این امر نیز به نوبه خود می‌تواند یکی از نقاط ضعف و منابع ایجاد خطا در انجام محاسبات از طریق این قبیل معادلات تحلیلی باشد.

ج) تاثیر جمع کننده روباز (کلکتور) بر افت سطح ایستابی:

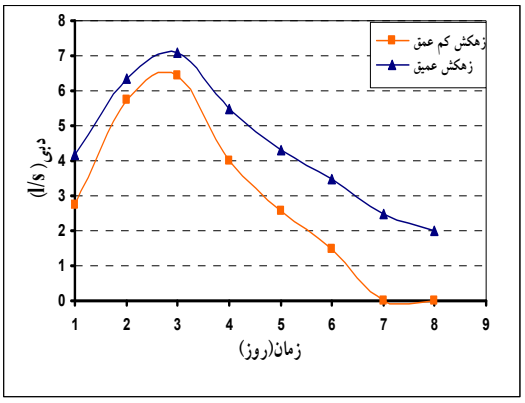
نکته دیگری که از نتایج مشهود می‌باشد این است که عمق و شدت افت سطح ایستابی در حالت واقعی با حرکت از انتهای مزرعه به سمت کلکتور (جمع کننده) روباز افزایش می‌یابد (عمق و شدت افت سطح ایستابی درچاهک‌های واقع در فاصلهٔ ۲۵۰ متری بیشتر از ۵۰۰ متری و در فاصلهٔ ۵۰۰ متری بیشتر از فاصله ۷۵۰ متری است). که این امر بیانگر نقش کلکتورها یا جمع‌کننده‌های روباز در کنترل سطح ایستابی است در صورتی که در محاسبات اولیه طراحی‌ها و معادلات موجود این نقش در نظر گرفته نمی‌شود.

۳-۵- تغییرات دبی زهکش‌ها با زمان

تغیرات زمانی دبی زهکش‌های عمیق و کم عمق برای یک دور آبیاری و همچنین برای مجموع سه دوره آبیاری اندازه‌گیری شده، در شکل‌های (١٤) و (١٥) نشان داده شده است.



شکل (١٥): تغییرات دبی زهکش‌های عمیق و کم‌عمق برای سه دوره آبیاری



شکل (١٤): تغییرات دبی زهکش‌های عمیق و کم‌عمق برای یک دور آبیاری

با توجه به شکل‌های (١٣) و (١٤)، مشاهده می‌شود که دبی زهکش‌ها طی سه روز اول دوره آبیاری، که قسمت اعظم مزرعه در این دوره آبیاری می‌گردد، با گذشت زمان افزایش می‌یابد تا اینکه در روز سوم به

نقطه اوج خود می‌رسد و از آن به بعد، میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمیق و کم عمق کاهش یافته و از روز ششم به بعد، یا به عبارتی اتمام دور آبیاری به حداقل مقدار خود می‌رسد که در این زمان میزان دبی خروجی از زهکش‌های کم عمق صفر شده و تنها زهکش‌های عمقی کار می‌کنند. همچنین ملاحظه می‌گردد که میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمقی همواره بیشتر از دبی زهکش‌های کم عمق می‌باشد و هرچه به انتهای دوره آبیاری نزدیک می‌شویم این اختلاف بیشتر می‌گردد. لازم به توضیح است که زهکشهای عمقی بیشتر آبهای زیرزمینی را تخلیه می کنند نه آبهای اضافی ناشی از آبیاری. بنا براین می‌توان جهت طراحی زهکش‌های کم عمق از لوله با قطر کمتر استفاده نمود. پس به طور کلی می‌توان گفت سیستم زهکش پلکانی در مقایسه با سیستم معمولی به صورت یک سیستم زهکشی کنترل شده عمل می‌کند و مشکل دفع زه-آب‌های اضافی به محیط زیست کاهش می‌یابد. یعنی اگر زهکشهای جدید هم عمق زهکشهای قدیم نصب می شدند، تخلیه غیر ضروری آبهای زیرزمینی بیشتر صورت گرفته و دفع آنها اثرات بیشتری روی محیط زیست خواهد داشت.

۳-۶- عملکرد محصول نیشکر

همان طور که در قسمت‌های قبل ملاحظه شد نتایج نشان می‌دهند که بعد از اجرای این طرح مشکل شوری و ماندابی بودن اراضی برطرف گردیده و سیستم جدید در کاهش سطح آب زیرزمینی از کارایی نسبتاً خوبی برخوردار بوده است. از طرفی شاهد بسیار گویای این مدعا افزایش میزان عملکرد محصول نیشکر، این مزرعه پس از احداث زهکش‌های پلکانی می‌باشد (جدول ٤).

جدول(٤): میزان عملکرد نیشکر قبل و بعد از احداث زهکش‌های پلکانی جدید در مزرعه مورد مطالعه

سال برداشت	تاریخ برداشت	نام واریته	سن	نوع برداشت	هکتار برداشت شده	میزان محصول (ton/ha)
۷۹-۸۰	۷۹/۸/۲۱	CP69-1062	P	ماشینی و دستی	۲۵/۰۲	۸٦/٦
۸۰-۸۱	۸۰/۹/۵	CP69-1062	R1	ماشینی	۲۵/۰۲	۵۳/۹
۸۱-۸۳	به علت انجام عملیات اصلاحی کشت نشده					
۸۳-۸٤	۸۳/۸/۱۰	CP58-614	P	ماشینی	۹/۲۲	۱۱۸/۹
	۸۳/۸/۱۱	NCO-310	P	ماشینی	۲/۵۰	۱۲۹/۹
	۸۳/۸/۱۱	CP48-103	P	ماشینی	۱۲/۹۵	۱۳۹/۱
	۸۳/۸/۱۱	میانگین	P	ماشینی	۲٤/٦۷	۱۳۳/٦٦
۸٤-۸۵	۸٤/۸/۲۰	CP69-1062	R1	ماشینی	۲۵/۰۲	۱۰۵/۸
۸۵-۸٦	۸۵/۹/۱	CP69-1062	R2	ماشینی	۲۵/۰۲	۹۸/۲۳
۸٦-۸۷	۸٦/۸/۱۵	CP69-1062	R3	ماشینی	۲۵/۰۲	٦۸/۲۲

همانطور که از نتایج جدول فوق مشهود است، بعد از نصب زهکش‌های جدید و انجام عملیات آبشویی متوسط وزنی عملکرد این مزرعه ۲۵ هکتاری در سال ۸٤-۸۳ بالغ بر ۱۳۳ تن در هکتار بوده است که نسبت به میانگین محصول مشابه سال ۸۰-۷۹ (پلنت قبل از احداث زهکش‌های پلکانی) به میزان ٤۷/۱ تن در هکتار افزایش عملکرد داشته است. این میزان، افزایش رشدی در حدود ٥٤٪ در عملکرد محصول نسبت به حالت بدون زهکش‌های پلکانی را نشان می‌دهد. همچنانکه مشاهده می‌شود میزان عملکرد در سال‌های ۸٤، ۸٥ و ۸٦ ، یا به عبارتی ۲، ۳ و ٤ سال بعد از نصب زهکش‌های جدید به ترتیب ۱۰٥/۸، ۹۸/۲۳ و٦۸/۲۲ تن در هکتار بوده، که خود گویای افزایش چشمگیر عملکرد نسبت به قبل از احداث سیستم زهکشی جدید می‌باشد. در اینجا ذکر این نکته ضروری است که علت کاهش عملکرد محصول در سال زراعی ۸۷-۸٦ سرمازدگی محصول در این سال زراعی می‌باشد. که بر اساس گزارشات مرکز تحقیقات و مطالعات کاربردی توسعه نیشکر واحد امام خمینی متوسط تناژ محصول در کلیه سطح زیر کشت این واحد در سال ۸۷-۸٦ به علت سرمازدگی به حدود ۷۱ تن در هکتار رسید. که نسبت به سال‌های قبل حدود ۳۰ تا ٤۰ تن در هکتار کاهش محصول وجود داشته است.

۴- نتیجه‌گیری:

نتایج حاصل از شاخص‌های موجود نشان می‌دهند سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی و شوری به خوبی عمل نموده، و مشکل ماندآبی و شوری مزرعه به طور کامل از بین رفته، و مقدار محصول نیز افزایش چشمگیری داشته است. ادامه ارزیابی می‌تواند با نتایج مربوط به عملکرد نیشکر در بازرویی‌های بعدی تکمیل شود. آنچه مسلم است مطالعه سطح ایستابی و همچنین افزایش عملکرد نیشکر موجب شده است که این توصیه برای سایر مزارع کشت و صنعت امام خمینی (ره) که دچار مشکل مشابهی بودند نیز تعمیم داده شود. نتایج حاصل از این مزارع نیز گویای تأثیر به سزای این نوع سیستم زهکشی در بهبود شرایط زهکشی و افزایش عملکرد محصول آنها می‌باشد. علی ایحال نتایج فوق الذکر چشم اندازی امیدوارکننده برای بهبود وضعیت زهکشی اراضی مشکل دار نمایان می‌سازد.

نتایج حاصل از نوسانات سطح ایستابی نشان می‌دهند سیستم زهکش پلکانی در کنترل سطح ایستابی به خوبی عمل نموده و سطح آب در مدت زمانی مناسب به عمق توسعه ریشه می‌رسد. همچنین مقادیر بدست آمده از طریق معادله تحلیلی تنها در محدوده کمی از پروفیل سطح ایستابی با حالت واقعی مشاهده شده در مزرعه تطابق داشتند که علت اصلی آن نیز وضعیت لایه‌ای بودن خاک مزرعه و فرض همگن بودن خاک در معادلات موجود می‌باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری دبی زهکش‌های عمیق و کم‌عمق بیانگر این موضوع است که میزان دبی خروجی از زهکش‌های عمقی همواره بیشتر از دبی زهکش‌های کم عمق می‌باشد و هرچه به انتهای دوره آبیاری نزدیک می‌شویم این اختلاف بیشتر می‌گردد . بنا براین می‌توان جهت طراحی زهکش‌های کم عمق ازلوله با قطر کمتر استفاده نمود.

سپاسگزاری:

از جناب آقای مهندس مجدی مدیرعامل محترم کشت و صنعت امام خمینی (ره) و معاونت محترم ایشان جناب آقای مهندس سلطانی و کلیه کارکنان محترم اداره مطالعات کاربردی آن کشت و صنعت برای فراهم نمودن کلیه امکانات برای این تحقیق تشکر می‌شود. از دفتر تحقیقات آب سازمان آب و برق خوزستان برای حمایت مالی از این تحقیق در غالب قرار داد همکاری با دانشگاه شهید چمران اهواز کمال سپاس را داشته و قدردانی می‌نماییم. از همکاری و حمایت مدیریت و کارکنان محترم دفتر ارتباط با صنعت معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز نیز تقدیر و تشکر می‌شود.

منابع

[۱]. اکرم، م. ۱۳۸۱. مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی زیرزمینی در ایران. مجموعه مقالات نگرشی بر مسائل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی زیرزمینی در ایران، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، نشریه شماره ۵۹.

[۲]. بای‌بوردی، م. ۱۳۷۲، اصول مهندسی زهکشی و بهسازی خاک، انتشارات دانشگاه تهران، ٦٤١ صفحه.

[۳]. رحیمی خوب، ع. ۱۳۸۵، مدل ریاضی جریان آب در زهکش‌های نصب شده در دو عمق مختلف، مجموعه مقالات اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز.

[٤]. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۷۸. مجموعه مقالات کارگاه فنی مسائل و مشکلات اجرای شبکه‌های زهکشی . نشریه شماره ۲۳.

[5]. Bouwer, H. and Van Schilfgaarde, J., 1963. Simplified method of predicting fall of water table indrained land. Trans. Am. Soc. Agric. Eng., 6(4): 288-291,296.

[6]. Cavelaars, J.C., Vlotman, W.F., and Spoor, G.,1994. Subsurface Drainage Systems, Chapter 21. In : Ritzema, H.P. (Ed.). Drainage Principles and Applications.

[7]. DeBoer, D.W. and Chu, S.T., 1972. Development of bi-level drainage theory, Pap. No. 72-731,presented at the 1972 Winter Meeting, ASAE

[8]. DeBoer, D. W., and Chu, S. T., 1975. Bi-level subsurface drainage theory. Trans. ASAE, 18(4): 664-667.

[9]. F.A.O. 1984. Drainage Testing, Irrigation and Drainage Workshop. NO. 28, Rome, Food and Agriculture Organization, 409 p.

[10]. Sabti, N.A., 1989. Linear and nonlinear solution of the Boussinesq equation for the bi-level drainage problem.Agric. Water Manage. 16, 269-278.

[11]. Upadhyaya, A, Chauhan, H.S. ,2000. An analytical solution for bi-level drainage design in the presence of evapotranspiration. Agricultural Water Management,45: 169-184

[12]. Verma, A.K., Gupta, S.K., Singh, K.K., Chauhan, H.S., 1998. An analytical solution for design of bi-level drainage systems. Agric. Water Mgmt. 37, 75-92.

[13]. Vlotman, W.F., Willardson, L.S. and Dierickx, W., 2000. Envelope Design for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publications 56, Wageningen, The Netherlands. pp. 71-83, 97-117.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

بازنگری برخی ضوابط طراحی شبکه‌های زهکشی کشور

علیرضا مریدنژاد[۱]

چکیده

توسعه شبکه‌های زهکشی در نیم قرن اخیر و در پی آن افزایش تراکم کشت و بهره‌برداری از اراضی زهکشی شده، تأثیر بارزی در افزایش تولیدات کشاورزی در جهان داشته است. اجرای میلیونها هکتار شبکه زهکشی زیر نظر متخصصین امر در مناطق خشک و نیمه خشک جهان خصوصاً کشورهای مصر و پاکستان و به موازات آن توسعه زهکشی در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب، خصوصاً کشورهای اروپائی که با نگاهی متفاوت مبادرت به زهکشی می‌کنند و احداث شبکه زهکشی زیرزمینی در اراضی شالیزاری شرق آسیا خصوصاً کشور ژاپن، تجربیات عظیمی را در اختیار ما قرار داده و زمینه اصلاح بسیاری از نظرات و باورهای قبلی را فراهم نموده است. برای کشور ما که دارای تجربیات محدودی در زمینه اجرای شبکه‌های زهکشی می‌باشد و براساس برنامه ریزی های انجام شده در آستانه اجرای طرح‌های بزرگ زهکشی قرار دارد، استفاده از تجربیات جهانی فرصت مغتنمی را فراهم نموده تا ضوابط طراحی شبکه‌های زهکشی را از نظر فنی، اقتصادی و زیست محیطی اصلاح و به روز نمائیم. برخی از پارامترهای مهم که نیاز به بازنگری و تغییر دارند عبارتند از:

۱- کاهش عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی: بمنظور کاهش حجم زهاب تخلیه شده به رودخانه‌ها و در نتیجه، کاهش مسائل و مشکلات زیست محیطی و افزایش سرعت اجرای شبکه‌های زهکشی.

۲- کاهش ضریب زهکشی: با توجه به تجربیات زهکشی در سایر کشورهای جهان با هدف کاهش هزینه‌های اجرائی طرح‌های زهکشی.

۱- فوق لیسانس آبیاری و زهکشی و مدیرعامل مهندسین مشاور سامان آبراه.

۳- کاربرد فیلترهای‌مصنوعی: درطرح‌های زهکشی کشور جهت کاهش هزینه طرح‌های زهکشی و افزایش سرعت اجرای پروژه‌ها در راستای حفظ محیط زیست.

۴- اصلاح ضوابط انتخاب فیلترهای شن و ماسه: در طرح‌های زهکشی با توجه به تجربیات ناشی از کاربرد فیلترهای USBR و SCS در طرح‌های زهکشی مناطق خشک و نیمه خشک جهان.

۵- اصلاح آرایش شبکه‌های زهکشی: شامل کاهش طول و افزایش شیب زهکش‌ها و استفاده از جمع‌کننده‌های لوله‌ای زیرزمینی بجای زهکش‌های روباز سطحی.

۶- زهکشی کنترل شده: کاربرد زهکشی کنترل شده در طرح‌های زهکشی در دست بهره‌برداری و پیش بینی ابنیه مناسب جهت استفاده از زهکشی کنترل شده در طرح‌های آتی کشور.

۷- زهکش‌های سطحی سبز دوستدار محیط زیست: توجه خاص به نقش زهکش‌های سطحی سبز در کاهش آلاینده بخصوص بقایای کودها و سمها در زه‌آب و جلوگیری از لایروبی آنها توسط ماشین آلات سنگین.

مقدمه:

در سال‌های اخیر توجه به زهکشی در کشور ابعاد تازه‌ای گرفته و برنامه اجرای طرح‌های توسعه زهکشی توسط وزارت جهاد کشاورزی و در پاره‌ای مناطق حتی توسط وزارت نیرو بیش از پیش در دستور کار قرار گرفته است. جهت ارتقاء مطالعات، اجرا و بهره‌برداری از شبکه‌های زهکشی استفاده از تجربیات جهانی و تجربیات داخلی که در نتیجه ارزیابی طرح‌های در دست بهره‌برداری بدست آمده است ضرورتی انکارناپذیر است. خوشبختانه در سه دهه اخیر اجرای میلیونها هکتار طرح‌های زهکشی در کشورهائی که دارای شرایط آب و هوائی تا حدودی نزدیک به شرایط آب و هوائی کشور ما هستند امکانی را برای طراحان و مجریان طرح‌های زهکشی بوجود آورده است تا از تجربیات طراحی، اجرائی و بهره‌برداری از شبکه‌های زهکشی در این کشورها در طرح‌های زهکشی کشور بهره‌مند شوند. به همراه کسب تجربه از طرح‌های زهکشی در مناطق خشک و نیمه خشک، توسعه زهکشی در کشورهای اروپائی نکات جدیدی را پیش روی ما قرار داده است و به ما گوشزد می‌کند که چنانچه طرح‌های، زهکشی بدون ملاحظات زیست محیطی اجرا گردند هر چند به ظاهر در کوتاه مدت عوایدی را نصیب ما خواهد نمود ولی در دراز مدت ضرر و زیان زیادی را به محیط اطراف و آب‌های جاری و نقاط تخلیه زه‌آب ایجاد خواهد نمود که در مواردی جبران ناپذیر می‌باشد. بنابراین طرح‌های زهکشی قبل از هر چیز بایستی از نظر اثرات دراز مدت زیست محیطی مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته واز این زاویه توجیهات لازم را داشته باشند. لذا بحث در مورد لزوم اصلاح ضوابط طراحی تنها بعد اقتصادی و بهره‌برداری نداشته و بعد زیست محیطی آن در اولویت می‌باشد. برای مثال هر چند محاسبات اقتصادی ما را به عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی در ۲ تا ۲/۵ متری می‌رساند ولی ملاحظات زیست محیطی در راستای کاهش حجم زه‌آب خروجی و افزایش کیفیت آن به حداقل عمق نصب زهکش‌ها اعتقاد دارد. بنابراین با قبول هزینه بیشتری لازمست ملاحظات زیست

محیطی را مدنظر قرار دهیم. در خصوص استفاده از فیلترهای مصنوعی بجای طبیعی و تخریب کمتر طبیعت، آرایش شبکه‌های زهکشی، زهکشی کنترل شده و استفاده از زهکش‌های روباز سبز همه و همه علاوه بر ملاحظات فنی و اقتصادی، ملاحظات زیست محیطی پیش روی ما قرار دارد و هر نوع بازنگری و تصمیم گیری در مورد تغییر و اصلاح ضوابط فنی با لحاظ نمودن ملاحظات زیست محیطی دارای توجیه دراز مدت است.

مواد و روش‌ها:

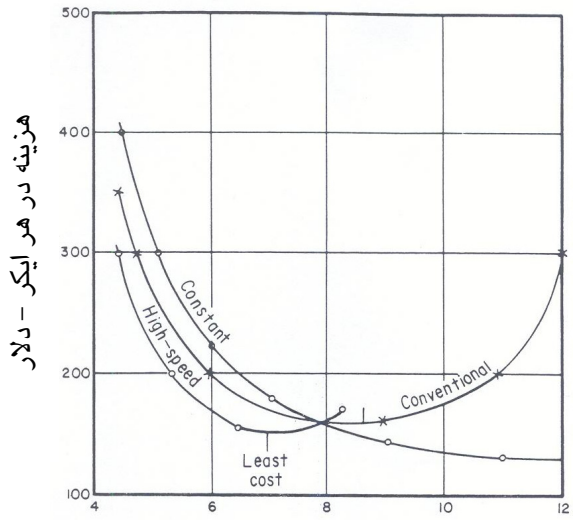
این تحقیق، براساس تجربیات ناشی از طرح‌های زهکشی اجرا شده و در دست بهره‌برداری در ایران و تجربیات ناشی از اجرا و بهره‌برداری از میلیون‌ها هکتار شبکه زهکشی در کشورهای پاکستان و مصر که تا حدودی شرایط مشابه آب و هوائی با کشور ما را دارند صورت گرفته است. با توجه به اهمیت مسائل زیست‌محیطی در کشورهای غربی، در بخش مسائل زیست‌محیطی به تحقیقات انجام شده در این کشورها و نتایج آنها که در قالب مقالات علمی منتشر شده است استناد گردیده است. بعلاوه سعی شده که از پاره‌ای نتایج و تجربیات جهانی که در آخرین نشریات آبیاری وزهکشی FAO ارائه شده است نیز استفاده گردد تا در طراحی و اجرای شبکه‌های آتی زهکشی و در بهره‌برداری از طرح‌های موجود و آینده بکار گرفته شوند.

۱- عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی

عمق مبنا یا عمق پایه زهکش‌های زیرزمینی عمقی است که با نصب لوله ها در این عمق کلیه اهداف شبکه زهکشی زیرزمینی با صرف حداقل هزینه اجرائی تأمین گردد. عواملی که در تعیین عمق پایه زهکش‌های زیرزمینی مؤثرند عبارتند از :

- حداقل عمق سطح ایستابی مورد نیاز رشد ریشه گیاهان
- حداقل عمق بحرانی سطح ایستابی جهت کنترل شوری خاک و جلوگیری از صعود مؤئینگی
- نوع جریان آب بطرف زهکش‌های زیرزمینی (ماندگار یا غیرماندگار)
- لایه‌بندی، بافت و ساختمان خاک‌ها
- نوع ماشین‌آلات و تکنیک‌های اجرائی شبکه زهکشی
- عوامل اقتصادی در راستای حداقل نمودن هزینه ها
- مسائل خاص اراضی مانند وجود لایه‌های ریزشی و یا لجنی
- الگوی کشت زراعی و یا باغی اراضی
- نوع لوله‌های زهکشی
- عمق حداقل جهت کاهش حجم زه‌آب خروجی در دوران آیش با هدف کاهش مشکلات زیست محیطی ناشی از آلاینده‌ها

در دهه‌های گذشته که مسائل زیست محیطی مطرح نبود عمق نصب زهکش‌ها با هدف تأمین نیازهای زهکشی منطقه بگونه‌ای تعیین می‌شد که هزینه‌های شبکه زهکشی به حداقل برسد. نصب زهکش‌ها در عمق بیشتر از طرفی موجب افزایش هزینه های نصب و از طرف دیگر باعث افزایش فاصله لوله های لترال زهکشی و کاهش هزینه‌ها می‌شد و محدوده اپتیمم این روند معمولاً بین عمق نصب ۲ تا ۲/۵ متر قرار می‌گرفت. نمودار(۱)، این مسئله را نشان می‌دهد.



نمودار (۱) عمق بهینه نصب زهکش‌های زیرزمینی براساس حداقل هزینه‌ها (فوت)

در سال‌های اخیر بدلیل اوج گیری مسائل و مشکلات زیست محیطی و ضرر و زیان ناشی از عدم توجه به این امر و کاهش منابع آب و تقاضای روز افزون برای منابع محدود کنونی، لزوم تجدید نظر در عمق نصب زهکش‌ها را در دستور کار متخصصین و محققین زهکشی قرار گرفت. از دیدگاه حفظ محیط زیست و مدیریت یکپارچه منابع آب و صرفه جوئی در مصرف به این نتیجه رسیدند که :

- کمیت زه‌آب خروجی تا حد امکان لازمست کاهش یابد.
- کیفیت زه‌آب تا حد امکان و قابل قبول بهبود یابد.
- در صورت امکان با مدیریت بر آب زیرزمینی کم عمق بخشی از نیاز آبی گیاهان با آبیاری زیرزمینی تأمین شود.
- زه‌آب خروجی به حداقل ممکن تقلیل یابد.

جهت دستیابی به اهداف فوق یکی از راهکارهای اساسی کاهش عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی است. لذا دیدگاه قبلی که پس از تأمین حداقل نیازهای زهکشی، عمق نصب را براساس حداقل هزینه ها محاسبه می‌نمود به دیدگاه جدیدی تبدیل شد که پس از تأمین حداقل نیازهای زهکشی و فراهم آوردن محیط مناسبی جهت تهویه گیاه، رفع شرایط ماندابی و جلوگیری از شوری اراضی، اصلی ترین عامل رعایت مسائل زیست محیطی و کاهش مصرف آب در کل سیستم است. جدول(۱) عمق نصب زهکش‌ها در پاره‌ای از کشورهای را نشان می‌دهد.

جدول (۱) عمق نصب زهکش‌ها در پاره‌ای از کشورهای جهان

ردیف	نام کشور	شرایط آب و هوائی	عمق زهکش (متر)
۱	هلند	مرطوب	۱/۲
۲	کانادا	مرطوب	۱ – ۱/٤
۳	فرانسه	مرطوب	۱/۲ – ۱/۵
٤	چین	مرطوب	۱ – ۱/۵
۵	اسپانیا	معتدل	۱ – ۲
٦	ترکیه	معتدل	۱/۵ – ۱/۷
۷	مصر	خشک	۱/۵
۸	مکزیک	خشک	۱/۵ – ۱/٦
۹	هند	خشک	۱/۲ – ۲
۱۰	چین	خشک	۱/۵ – ۲/۲
۱۱	آمریکا	خشک	۲
۱۲	پاکستان	خشک	۲ – ۲/۲
۱۳	آسیای مرکزی	خشک	۲/۵ – ۳

چنانچه ملاحظه می‌شود عمق‌های مندرج در جدول(۱) بین ۱ تا ۳ متر متغییر است در صورتیکه در بسیاری از مناطق جهان می‌توان عمق نصب زهکش را با هدف کاهش عوارض زیست محیطی و استفاده بهینه از منابع آب کاهش داد. کاهش عمق نصب زهکش‌ها موجب کاهش حجم زه‌آب خروجی شده و میزان آلاینده‌های موجود را نیز کاهش خواهد داد. در تحقیق (Skaggs and chescheir - 2003) به این نتیجه رسیدند که کاهش عمق نصب زهکش‌ها موجب کاهش غلظت ازت در زه‌آب شده است.

نصب زهکش‌ها در عمق کم ممکن است در مناطق گرم و خشک با شرایط آب و هوائی بحرانی باعث رجعت شوری شده و خطر شوری خاک را در پی داشته باشد. از طرفی در صورت بهره‌برداری از اراضی بصورت باغات میوه، موزکاری و یا کشت‌های دارای ریشه عمیق، ممکن است عمق نصب کم لوله زهکش و ورود ریشه گیاهان باعث گرفتگی لوله های زهکشی شود. براساس نظر آقای (Lambert.k.Smedema-2007) طبقه بندی جدید عمق نصب زهکش‌ها به شرح زیر است:

جدول(۲) طبقه‌بندی عمق نصب زهکش‌ها
(L.K.Smedema- 2000)

ردیف	شرح	عمق نصب (متر)
۱	عمق معمولی	۲-۱/۲
۲	عمق کم	۱/۵ – ۱/۲
۳	عمق طلائی	۱/۵
٤	عمق زیاد	۲-۱/٦
۵	عمق حداکثر	۲

جدول(۳) عمق نصب زهکش‌ها در شرایط
آب و هوائی مختلف (FAO,2007)

ردیف	شرایط آب و هوائی	عمق زهکشی (متر)
۱	معتدل	۱/۵ – ۱
۲	مرطوب حاره ای	۱/۵ – ۰/۸
۳	خشک (خاک ماسه ای)	۱/۵ – ۱
٤	خشک (خاک رسی)	۲ – ۱/۵
۵	خشک (خاک سیلتی)	۳ – ۲

براساس آخرین نظر FAO در سال ۲۰۰۷ عمق نصب زهکشی در شرایط آب و هوائی مختلف به شرح جدول (۳) پیشنهاد شده است.

۲- کاهش ضریب زهکشی(q)

ضریب زهکشی عبارت است از میزان زه‌آب زیرزمینی که در نتیجه تلفات نفوذ عمقی آب آبیاری، بارندگی، تلفات و نشت از کانال‌ها، نشت آب زیرزمینی از اراضی اطراف و نشت آب از لایه‌های تحت فشار و آرتزین در مدت زمان معینی به زهکش‌های زیرزمینی می‌رسد. باتوجه به عوامل مؤثر در تعیین ضریب زهکشی، بهترین راه حل جهت تعیین ضریب زهکشی، محاسبه بیلان آب زیرزمینی است که این امر متضمن صرف وقت زیادی می باشد و نیاز به اطلاعاتی دارد که تهیه آنها براحتی امکان پذیر نیست.

پاره‌ای تجربیات در کشور ما و برخی کشورهای دیگر نشان میدهد که ضرائب زهکشی محاسبه شده در طرح‌ها بطور کلی بیش از مقدار مورد نیاز بوده که این امر موجب محاسبه فاصله کمتر زهکش‌ها و افزایش هزینه‌های اجرای طرح بوده است. در کشورهای مصر و پاکستان، ضریب زهکشی محاسبه شده در طرح‌های زهکشی زیرزمینی بمراتب بیشتر از ضریب زهکشی واقعی اندازه‌گیری شده و دبی خروجی زهکش‌ها بوده و در مواردی به حدود نصف رسیده است. بنابراین در برآورد ضریب زهکشی علاوه بر انجام محاسبات لازم، استناد به تجربیات داخلی و سایر کشورها دارای اهمیت زیادی می باشد.

بدیهی است تقاضای روزافزون برای آب و کاهش نزولات جوی، لزوم استفاده بهینه از منابع محدود آب‌های شیرین را در دستور کار تمام کشورها قرار داده است. لذا گرایش کلی طرح‌های آبیاری، صرفه‌جوئی در مصرف و کاهش تلفات آب می باشد و این امر لزوم دقت بیشتر در برآورد ضریب زهکشی را تأکید می‌نماید. جدول(٤) ضرائب پیشنهادی زهکشی توسط **FAO** را در سال ۱۹۸۰ نشان می‌دهد.

جدول(٤) ضرائب زهکشی پیشنهادی FAO در سال ۱۹۸۰

ردیف	شرایط آب و هوائی و خاک	ضریب زهکشی (میلیمتر در روز)
۱	خاک‌های دارای نفوذپذیری کم	< ۱/۵
۲	خاک‌های دارای نفوذپذیری مناسب با تراکم کشت بالا	۳ – ۱/۵
۳	شرایط آب و هوائی گرم و خشک، با مشکل شوری خاک و مدیریت ضعیف آبیاری	٤/۵ – ۳
٤	شرایط ویژه مانند کشت برنج و خاک‌های سبک	> ٤/۵

ضریب زهکشی در چندین پروژه در پاکستان و مصر پس از بهره‌برداری اندازه گیری و اعداد بسیار کمتری در مقایسه با پیش فرضهای اولیه در طراحی بدست آمده است در نتیجه بتدریج در طرح‌های بعدی مقدار آنرا کاهش دادند.(جدول ۵)

جدول(۵) روند کاهش ضریب زهکشی در طرح‌های زهکشی پاکستان و مصر

کشور	نام پروژه	ضریب زهکشی (میلیمتر در روز)
پاکستان	خیارپور	۳/۵
	مردان	۳ – ۳/۵
	فیصل آباد	۲ – ۳
	خوشاب	۱ – ۱/۵
مصر	اغلب طرح‌ها	۱ – ۲

در ایران نیز ضریب زهکشی در پاره ای از طرح‌های زهکشی اجرا شده اندازه گیری شده و میزان آن کاهش قابل توجهی را نسبت به میزان آن در طراحی نشان می‌دهد. نتایج اندازه گیری در جدول شماره(٦) منعکس گردیده است

جدول(٦) کاهش ضریب زهکشی در طرح‌های زهکشی زیرزمینی کشور

ردیف	شرح	ضریب زهکشی در طراحی (میلیمتر در روز)	ضریب زهکشی در بهره‌برداری (میلیمتر در روز)
۱	طرح‌های زهکشی در دشت مغان	٤/۵	۲/۸
۲	طرح زهکشی بهبهان	٤	۲/۵
۳	طرح زهکشی شمال خرمشهر	٤	۲ *

* ضریب زهکشی اصلاح شده در طراحی نهائی

با توجه به تجربیات جهانی و داخلی ناشی از اندازه‌گیری ضریب زهکشی و لزوم کاهش آن در محاسبات زهکشی، در آخرین نشریه آبیاری و زهکشی FAO به شماره ٦٢ که در سال ۲۰۰۷ منتشر شده است ضرائب زهکشی برای شرایط مختلف آب و هوائی به شرح جدول(۷) پیشنهاد شده است این در حالیست که در سال ۱۹۸۰ یعنی ۲۷ سال قبل پیشنهاد FAO برای ضریب زهکشی در مناطق خشک(جدول ٤) حدود ۲ برابر مقادیر مندرج در جدول(۷) بوده است.

جدول(۷) ضرائب زهکشی پیشنهادی FAO در سال ۲۰۰۷

ردیف	شرایط اقلیمی	ضریب زهکشی (میلیمتر در روز)
۱	آب و هوای نیمه مرطوب	۷ – ۱۵
۲	آب و هوای مرطوب حاره ای	۱۰ – ۱۵
۳	اراضی تحت آبیاری در مناطق خشک	۱ – ۲

۳- کاربرد فیلترهای مصنوعی

مواد پوششی و یا فیلتری موادی دارای خلل و فرج هستند که جهت جلوگیری از ورود رسوبات بداخل لوله‌های زهکشی و بهبود شرایط هیدرولیکی دراطراف لوله‌ها قرار می‌گیرند. بطورکلی سه نوع فیلتر وجود دارد:

- فیلترهای طبیعی
- فیلترهای آلی
- فیلترهای مصنوعی

۳-۱- فیلترهای طبیعی شن و ماسه: فیلترهای شن و ماسه برای چند دهه بیشترین مصرف را در جهان داشته و در حال حاضر در بسیاری از طرح‌های زهکشی مصرف می‌شوند و بعنوان مطمئن‌ترین فیلتر شناخته شده در زهکشی هستند. در سال ۱۹۸٦ در کنفرانسی در مورد فیلترهای زهکشی که در هلند برگزار شد اظهار شد: " Gravel remains for the time being the most reliable filer material "

۳-۲- فیلترهای آلی: فیلترهای آلی مواد زائد و یا تولیدات جانبی کشاورزی هستند که بعنوان فیلتر دور لوله‌های زهکشی بکار گرفته شده‌اند. مانند پوست نارگیل، پوست برنج، کاه و کلش.

۳-۳- فیلترهای مصنوعی: فیلترهای مصنوعی از جنس پلی‌پروپیلن، پلی‌استر، پلی‌اتیلن و نایلون ساخته می‌شوند و نام تجاری تمامی آنها ژئوتکستایل است. ژئوتکستایل‌ها مواد پلاستیکی و پلی‌مری هستند که در داخل خاک مورد استفاده قرار می‌گیرند و یکی از ویژگی‌های بارز آنها خلل و فرج و نفوذپذیری آنها در

مقابل آب است. کاربرد ژئوتکستایل‌ها بعنوان پوشش اطراف لوله‌های زهکشی از سال ۱۹۵۰ در کشور هلند شروع شد و بتدریج توسعه یافت و در حال حاضر در کشورهای اروپایی و بسیاری کشورهای دیگر جهان در طرح‌های زهکشی زیرزمینی استفاده می‌گردد. فیلترهای زهکشی مصنوعی بصورت‌های مختلف تولید و دور لوله‌ها قرار می‌گیرند. بصورت بافته شده، بافته نشده، بافته شده گره‌دار و نوع PLM .

کاربرد فیلترهای مصنوعی در زهکشی دارای مزایای زیر است:

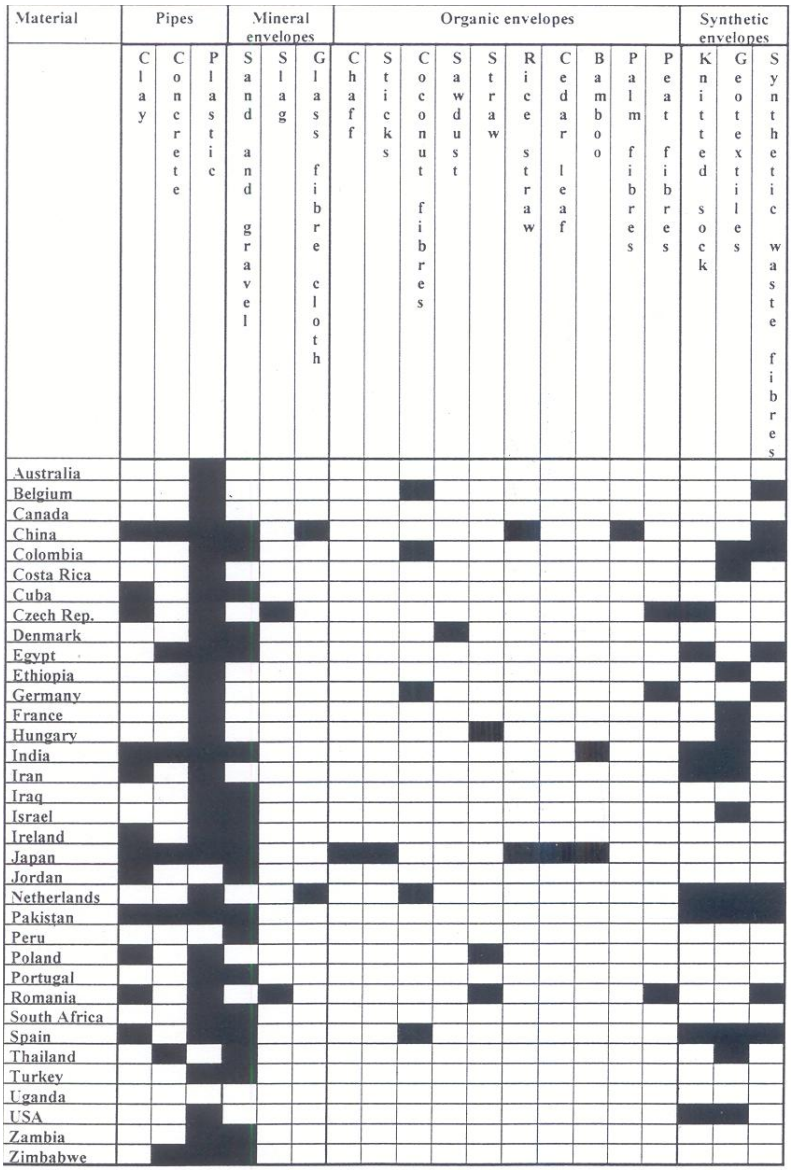
- هزینه تهیه آنها بمراتب کمتر از فیلترهای شن و ماسه و طبیعی است.
- نصب آنها به همراه لوله بسیار ساده است.
- سرعت نصب آنها زیادتر از سرعت نصب لوله با فیلتر شن و ماسه است.

برخی مشکلات فیلترهای مصنوعی و ژئوتکستایلها به شرح زیر است:

- در اثر فشار خاک خصوصاً در اعماق زیاد نفوذپذیری آنها سریعاً کاهش می‌یابد.
- در مقابل نور آفتاب بسیار حساس هستند و برخی از انواع آنها حتی کمتر از یک ماه در برابر نور آفتاب دچار آسیب جدی می‌شوند.
- ظریف و حساس هستند و ممکن است در جریان حمل و نقل و کارگذاری دچار آسیب شوند

در سال۱۹۸۷ آقای Framji مصرف آنها را درکشورهای مختلف ارزیابی ونتایج در جدول (۸) نشان داده شده است.

جدول(۸) مصرف فیلترهای مختلف در تعدادی از کشورهای جهان



چنانچه ملاحظه می‌شود بسیاری از کشورها مجبور به استفاده از فیلترهای مصنوعی شده اند و از سالها پیش مصرف فیلترهای شن و ماسه را متوقف کرده اند. آنها به دلایل مختلف مجبور به استفاده از فیلترهای مصنوعی شدند و سالهاست که از این نوع فیلتر استفاده می‌نمایند. دلایل اصلی لزوم استفاده از فیلترهای مصنوعی درکشور علی‌رغم محاسن زیاد فیلترهای شن وماسه وجودمسائل ومشکلات زیر است:

- در بسیاری از مناطق فیلترهای شن و ماسه وجود ندارد.
- در مناطق زیادی از کشور فاصله آنها از محل مصرف زیاد و هزینه آنها بسیار زیاد است.
- مصرف و حمل آنها از بستر رودخانه‌ها مخالف اصول زیست محیطی است.
- کارگذاری آنها همراه با مشکلاتی است.
- سرعت اجرای شبکه‌های زهکشی با فیلترهای شن و ماسه کندتر است.

بنابراین دلایلی که دیگر کشورها را وادار به استفاده از فیلترهای مصنوعی نمود برای کشور ما نیز مطرح است خصوصاً هزینه بسیار بالای تهیه فیلترهای شن و ماسه در پاره ای نقاط کشور و سرعت کم احداث شبکه‌های زهکشی با استفاده از فیلترهای شن و ماسه که لازمست با انجام تحقیقات همه جانبه و احداث مزارع آزمایشی هر چه سریعتر استفاده از آنها در اغلب پروژه ها صورت گیرد.

۴- اصلاح ضوابط انتخاب فیلترهای شن و ماسه

بدون شک فیلترهای شن و ماسه بهترین نوع فیلتردر شبکه‌های زهکشی زیرزمینی هستند. فیلترهای شن و ماسه ازآغاز طرح‌های زهکشی زیرزمینی کاربرد‌داشته و درحال حاضر نیز دربسیاری از کشورهای جهان از جمله کشور ما کاربرد وسیعی دارد. فیلترهای شن و ماسه بطور کلی در کارهای آبی زیر کاربرد دارند:

- سازه‌های هیدرولیکی
- اطراف لوله چاه‌های آب
- اطراف لوله‌های لترال زهکشی زیرزمینی

طراحی فیلترهای شن و ماسه اولین بار در سال ۱۹۲۲ میلادی توسط آقای ترزاقی(Terzaghi) شروع و ضوابط اولیه آن در این سال ارائه شد و متعاقباً در سال ۱۹٤۰ توسط آقایان Terzaghi و Bertron کاملتر گردید. در سال ۱۹۷۱ سازمان SCS ضوابط جدیدی برای طراحی فیلترهای اطراف لوله‌های زهکشی پیشنهاد نمود و در سال‌های ۱۹۸۸ ، ۱۹۹۱ و ۱۹۹٤ آنرا تکمیل نمود. USBR نیز در سال‌های ۱۹۷۸ و ۱۹۹۳ ضوابطی برای طراحی فیلترهای شن و ماسه ارائه نمود. با کاربرد وسیع فیلترهای SCS و USBR در طرح‌های زهکشی کشورهای مصر و پاکستان و شناسائی پاره ای مسائل و مشکلات این نوع فیلترها، در سال ۲۰۰۰ ترکیب جدیدی از فیلترهای زهکشی زیرزمینی توسط مؤسسه ILRI هلند پیشنهاد شد که دارای تفاوت‌هائی با فیلترهای مورد استفاده SCS و USBR است. بنابراین تکامل ضوابط طراحی فیلترهای شن و ماسه را به سه دوره می‌توان تقسیم نمود:

- سال‌های ۱۹۷۱ – ۱۹۲۲ طراحی براساس ضوابط ارائه شده توسط آقایان Terzaghi و Bertron و دیگران برای سازه های هیدرولیکی، چاه‌ها و زهکش‌های زیرزمینی
- سال‌های ۲۰۰۰ – ۱۹۷۱ طراحی فیلترهای شن و ماسه براساس ضوابط ارائه شده SCS و USBR برای زهکش‌های زیرزمینی.
- سال ۲۰۰۰ به بعد طراحی فیلترهای شن و ماسه با استفاده از ضوابط ارائه شده توسط ILRI

در جدول(۹) ضوابط طراحی فیلترهای شن و ماسه SCS و USBR و ILRI برای زهکش‌های زیرزمینی ارائه شده است.

جدول(۹) ضوابط طراحی فیلترهای شن و ماسه (SCS, USBR , ILRI)

معیارهای انتخاب پوشش زهکش سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS 1971)

پوشش دانه‌ای

$D_{۵۰} / d_{۵۰} =$ ۱۲-۵۸ — حداقل ضخامت پوشش ۳ اینچ (۷۵ میلی متر)

$D_{۱۰} \geq$ ۰/۲۵ mm — ۰/۲۵ میلی متر= الک استاندارد امریکا شماره ۶۰

$D_{۱۵} / d_{۱۵} =$ ۱۲-۴۰

پوشش یکنواخت

$D_{۱۵} / d_{۸۵} <$ ۵

قطر سوراخ‌های زهکش x ۰/۵ $\geq D_{۸۵}$

معیارهای تجدید نظر شده پوشش زهکش سازمان حفاظت خاک امریکا (1988 و همچنین SCS 1991)

ضوابط SCS برای دانه‌بندی فیلتر

$D_{۱۵} < ۷ d_{۸۵}$ — اما $D_{۱۵}$ نیاز نیست کوچکتر از ۰/۶ میلی متر باشد.

$D_{۱۵} > ۴ d_{۱۵}$

$D_{۵} >$ ۰/۰۷۴ mm — درصد ذرات عبوری از الک استاندارد شماره ۲۰۰ کمتر از ۵ درصد باشد.

ضوابط SCS برای پوشش دور لوله

$D_{۱۰۰} <$ ۳۸/۱ mm — کل ذرات باید از الک ۱/۵ اینچی (۳۸/۱ میلی متر) عبور کند.

$D_{۳۰} >$ ۰/۲۵ mm — درصد ذرات عبوری از الک استاندارد شماره ۶۰ کمتر از ۳۰ درصد باشد.

$D_{۵} >$ ۰/۰۷۴Mm — درصد ذرات عبوری از الک استاندارد شماره ۲۰۰ کمتر از ۵ درصد باشد.

طراحی دانه‌بندی فیلترهای شن وماسه سازمان حفاظت خاک امریکا (SCS 1994)

نوع گروه خاک	اگر $D_{۱۰}$ باشد :	سپس ماکزیمم $D_{۹۰}$ هست:
تمام گروه ها	< ۵ میلی متر	۲۰ میلی متر
	۰/۵-۱/۰ میلی متر	۲۵ میلی متر
	۱/۰-۲/۰ میلی متر	۳۰ میلی متر
	۲/۰-۵/۰ میلی متر	۴۰ میلی متر
	۵/۰-۱۰ میلی متر	۵۰ میلی متر
	< ۱۰ میلی متر	۶۰ میلی متر

طراحی پوشش زهکش بر مبنای معیارهای USBR (۱۹۷۸،۱۹۹۳)

پوشش بدون فیلتر

$D_{۱۰۰} <$ ۳۸ میلی متر — الک‌های استاندارد ۰/۵ اینچی امریکا

$D_{۵} <$ ۰/۳ میلی متر — الک استاندارد شماره ۵۰ از سری الک‌های استاندارد امریکا

برای مواد با دانه‌بندی مناسب

$C_u <$ ۴ — برای ماسه

$C_u <$ ۶ — برای شن

$۱ < C_c <$ ۳ — برای شن و ماسه

معیار جدید در سال ۱۹۹۳: $K_{env} \geq ۱۰ K_s$

وقتی K_{env} بزرگتر از ۱۵۰ متر در روز باشد تفکیک نکردن ذرات ایجاد اشکال خواهد کرد.

جدول(۹) ضوابط طراحی فیلترهای شن و ماسه (SCS, USBR , ILRI)

روابط دانه‌بندی بین ذرات زمین و قطر مواد دانه‌بندی شده پوشش

محدوده خاک برای d_{60} (میلی متر)	حدود پایین درصد ذرات						حدود بالای درصد ذرات					
	0	5	10	30	60	100	0	5	10	30	60	100
0/02–0/05	0/59	–	2/50	8/70	10/00	38/10	0/07	0/30	0/33	0/81	2/00	9/52
0/05–0/1	0/59	–	3/00	10/00	12/00	38/10	0/07	0/30	0/38	1/07	3/00	9/52
0/1–0/25	0/59	–	3/80	13/10	15/00	38/10	0/07	0/30	0/40	1/30	4/00	9/52
0/25–1/0	0/59	–	5/00	17/30	20/00	38/10	0/07	0/30	5/00	1/45	5/00	9/52

ضوابط طراحی پوشش زهکش توسط ILRI- انستیتو بین‌المللی اصلاح اراضی- واگنینگن- هلند

اندیس c و f به ترتیب مربوط به باند با ذرات خاک درشت و ریز می باشد.

۱- فیلتر، معیارهای حفاظتی	$D_{15c}[1] < 7\, d_{85\,f}$	SCS,1988
۲-منحنی راهنمای دانه بندی	$D_{60c} = 5\, d_{15\,c}$	
۳-معیارهای تفکیک	$D_{100} >$ ۹/۵ میلی متر	براساس یافته‌های پاکستان (شفیق-رو-رحمان، ۱۹۹۵)

کنترل نقاط در مرز ریز دانه مواد پوششی در پهنای باند

٤-۱-معیارهای هیدرولیکی	$D_{15f} > 4\, d_{15c}$
٤-۲- منحنی راهنمای دانه بندی(پهنای باند)	$D_{15f} > D_{15c} / 5$

بر مبنای $C_u \leq 6$ و نسبت پهنای باند کوچکتر از ۵.

۵- معیارهای هیدرولیکی	$D_5 >$ ۰/۰۷٤ mm
٦- منحنی راهنمای دانه بندی(پهنای باند)	$D_{60f} > D_{60c} / 5$
۷- معیارهای حفاظتی	$D_{85} > D_{opening}$
معیارهای ساختمانی	تمام روزنه های زهکش بایستی با مواد فیلتر حداقل سه اینچی پوشیده شوند. لفاف دور لوله نباید حاوی مواد خورنده باشد.
ذرات شکسته	آنالیز ۲۱ الک برای تعیین رنج ذرات استفاده شود.
	هدایت هیدرولیکی پوشش کمتر از ۳۰۰ متر در روز.

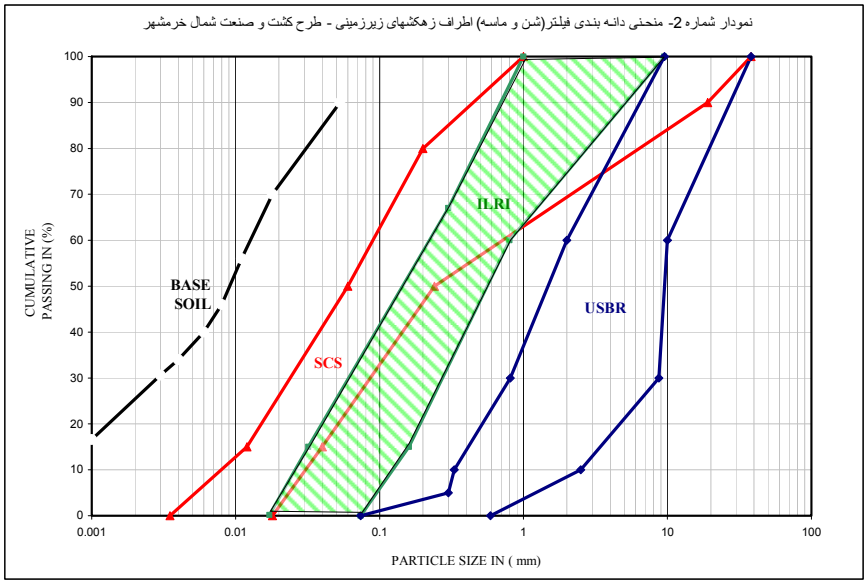
۱- Dxx اندازه ذرات خاک

d xx اندازه ذرات پوشش دور لوله

xx درصد عبور ذرات در منحنی دانه‌بندی

یکی از عوامل مؤثر در انتخاب نوع فیلترهـای شـن و ماسـه مسـأله حمـل و نقـل و انبـار کـردن ایـن مـواد می‌باشد. دانه بندی یا باند فیلتر شن و ماسه باید بگونه ای انتخاب شود که حمـل و نقـل ذرات فیلتـر باعـث پراکندگی و تفکیک و جدا شدن ذرات درشت دانه از ریز دانه نشده و منحنی دانه‌بندی ذرات فیلتـر همچنـان دارای پیوستگی و یکنواختی باشد. برای رسیدن به چنین هدفی اندازه حد بالای ذرات درشـت دانـه بـسیار مؤثر است. در روش‌های SCS و USBR اندازه ذرات درشت دانه در دامنه ۱۹ تا ۳۸ میلیمتر قرار دارد در حالیکه در روش جدید ILRI حداکثر قطر ذرات درشت دانه فیلتر به ۹/۵ میلیمتـر محـدود مـی‌شـود و ایـن مسئله بزرگترین تفاوتی است که در دانه‌بندی فیلترهـای جدیـد ILRI وجـود دارد. ذرات درشـت در طـول حمل و نقل در کامیون، بارگیری و باراندازی از مخلوط جدا شده و باعث بر هم زدن دانه‌بندی می‌شـوند و ادامه جداسازی در محل مصرف نیز می‌تواند باعث تجمع ذرات دانه‌ها در بخش‌هائی از اطراف لوله شده و موجب ورود سیلت و مواد ریزدانه به داخل لوله‌ها شود. بـرای مثـال اسـتفاده از فیلترهـای USBR بـرای خاک‌های شور و ریزدانه در پاکستان موجب ورود رسوبات ریزدانه به داخل لوله‌هـا و منجـر بـه گرفتگـی آنها شد (ولاتمن و دیگران ـ ۱۹۹۰).

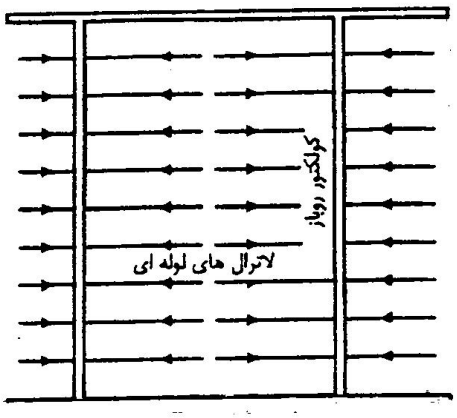
در طرح زهکشی خرمشهر برای انتخاب فیلتر شن و ماسه، با توجه به نوع خـاک فیلترهـای USBR ، SCS و ILRI مطابق نمودار شماره(۲) مورد مقایسه قرار گرفتند. چنانچه ملاحظه می‌شـود بانـد فیلتـر پیـشنهاد شده SCS (۱۹۹٤) در دامنه وسیعی از ذرات ریزدانه تا درشت دانـه قـرار دارد. در روش USBR درشـت دانه بودن فیلتر نقش آنرا جهت بهبود هدایت هیـدرولیکی مـصالح دور لولـه نـشان مـی‌دهـد در صـورتیکه فیلتراسیون برای خاک‌های ریزدانه سیلتی کمتر مورد توجه بوده است. بر این اساس در طرح خرمشهر بـا توجه به سیلتی بودن خاک‌ها و نیاز شدید به فیلتر مناسب جهت جلوگیری از ورود سیلت به داخل لوله‌های زهکشی، انتخاب فیلتر براسـاس روش ILRI انجـام شـد (نمـودار ۲). یـادآور مـی‌شـود در ایـن خـصوص مشاوره‌ای با آقای پروفسور ولاتمن (F.Vlotman) صورت گرفت، ایشان نیز ضمن تأییـد تمـامی مراحـل انتخاب فیلتر، باند فیلتر انتخاب شده را برای خاک‌های کشاورزی منطقه مورد تأیید قرار دادند.



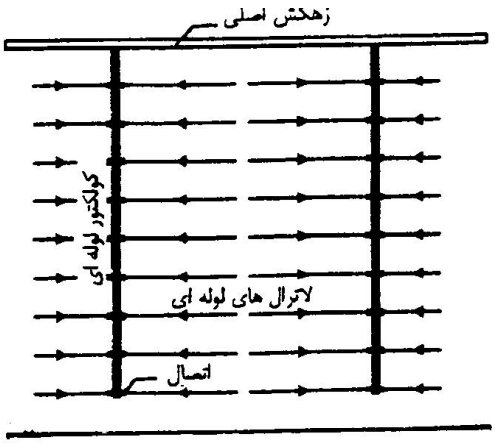
۵- آرایش بهینه شبکه‌های زهکشی زیرزمینی

توسعه ساخت و بهره‌برداری از شبکه‌های زهکشی زیرزمینی و تجربیات بدست آمده در سال‌های اخیر علاوه بر اصلاح ضوابط طراحی، لزوم اعمال تغییراتی را در آرایش شبکه و ابنیه زهکشی در دستور کار قرار داده است. آرایش شبکه‌های زهکشی زیرزمینی در سه شکل‌بندی زیر تعریف شده است.

- **سیستم ساده و منفرد**: در این سیستم زهکش‌های زیرزمینی موازی مستقیماً وارد زهکشی جمع کننده روباز سطحی می‌شوند وبجز لترالهای زیرزمینی، مابقی شبکه زهکشی مطابق شکل(۱) با استفاده از زهکش‌های سطحی طراحی و اجرا می‌گردد.

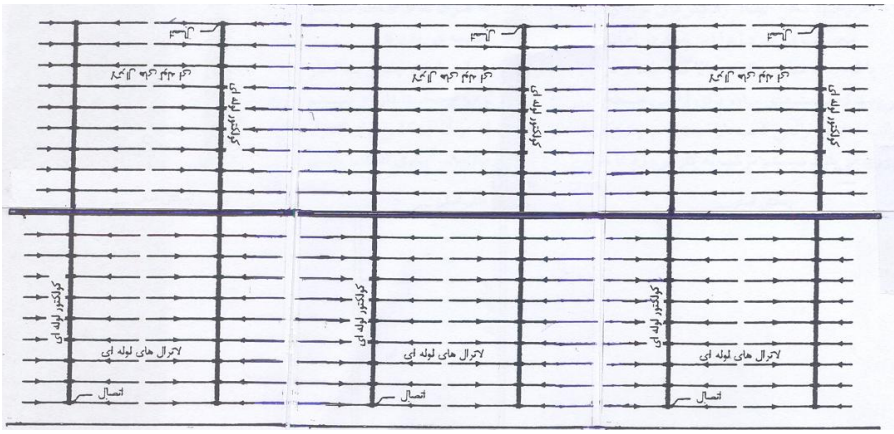


شکل(۱) سیستم منفرد (ساده)



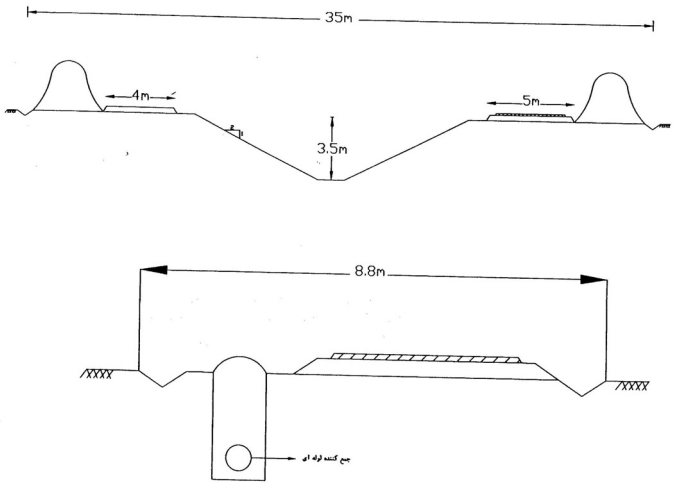
شکل(۲) سیستم مرکب

- **سیستم مرکب**: این سیستم مشابه آرایش زهکشی زیرزمینی ساده است با این تفاوت که بجای زهکش روباز سطحی از جمع کننده لوله‌ای زیرزمینی استفاده می شود و لترال‌های زهکشی زیرزمینی وارد جمع کننده لوله‌ای زیرزمینی شده و جمع‌کننده‌ها مطابق شکل (۲) به زهکش روباز نیمه اصلی و اصلی تخلیه می‌شوند.
- **سیستم مرکب با جمع‌کننده و زهکش نیمه اصلی لوله‌ای**: این سیستم مشابه سیستم مرکب است با این تفاوت که جمع کننده های لوله ای زیرزمینی نیز وارد لوله‌های زیرزمینی قطورتر که نقش زهکش‌های نیمه اصلی را بازی می‌کنند شده مطابق شکل (۳) و در مرحله بعد لوله های نیمه اصلی به زهکش‌های اصلی روباز تخلیه می‌شوند.



شکل(۳) سیستم مرکب با جمع‌کننده و زهکشی نیمه اصلی لوله‌ای

با توجه به مشکلات مربوط به نگهداری زهکش‌های سطحی و نیاز به لایروبی مکرر آنها در شرایط آب و هوائی گرم و خشک کشور و اشغال سطح وسیعی از اراضی بوسیله زهکش‌های سطحی در مقایسه با جمع کننده لوله‌ای(مطابق شکل٤) و نیاز به احداث پل و کالورت جهت عبور از روی آنها، آرایش بهینه در شرایط فعلی آرایش مرکب پیشنهاد می‌شود یکی از محاسن عمده این آرایش امکان استفاده از زهکشی کنترل شده با استفاده از ابنیه منهول در مسیر جمع کننده های زهکشی زیرزمینی است.



شکل(٤) مقایسه عرض زهکش‌های سطحی جمع کننده نسبت به جمع کننده های لوله ای

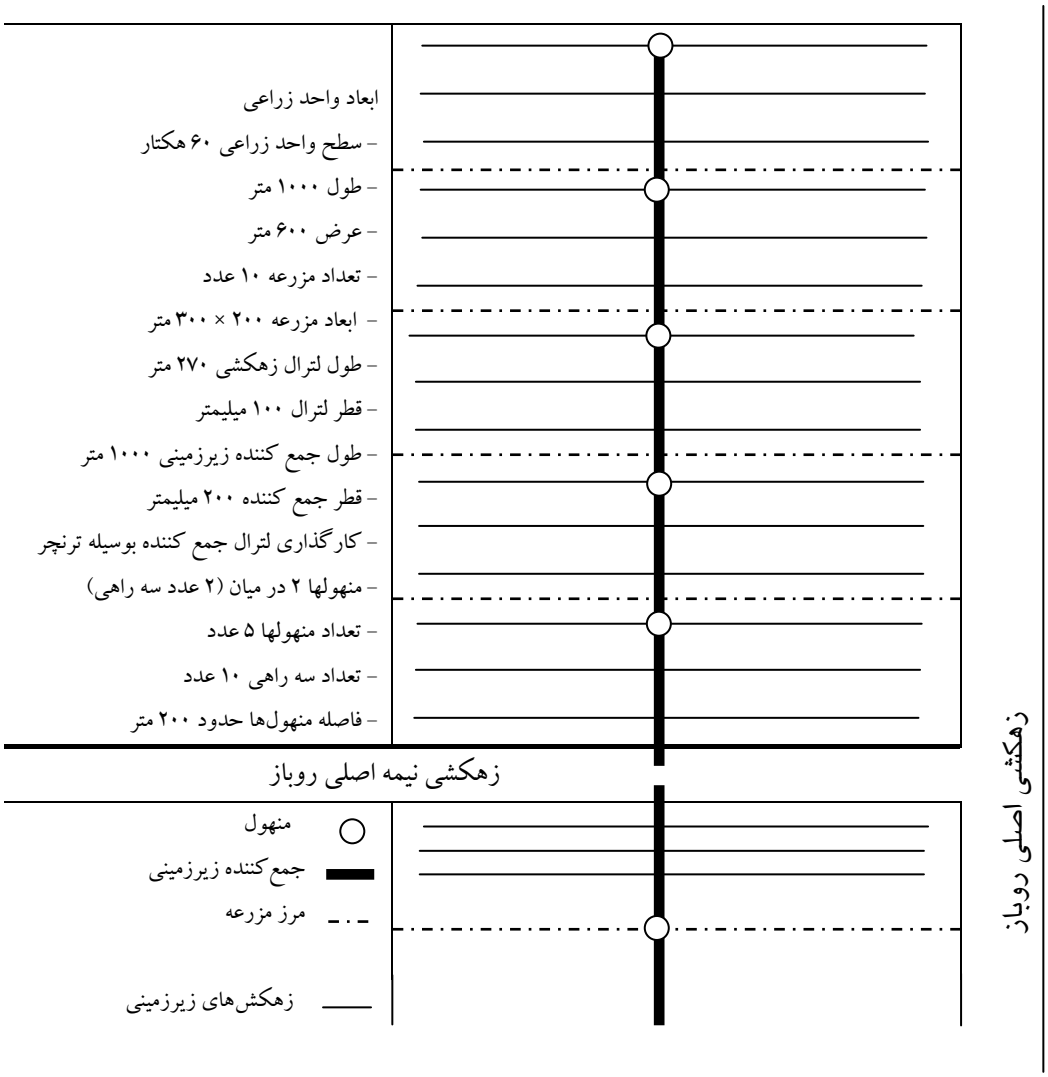
در صورت استفاده از سیستم مرکب، در محل برخورد زهکش‌های لترال زیرزمینی با جمع‌کننده لوله‌ای دو راه حل وجود دارد. میتوان منهول نصب نمود و یا با استفاده از سه‌راهی لترالها را مستقیماً وارد جمع‌کننده‌های زیرزمینی نموده در این ارتباط لازمست به دو مسئله زیر توجه نمود.

- ساخت منهول‌ها هزینه زیادی دارد.
- برای شستشوی جمع کننده‌ها و زهکشی کنترل شده احداث منهول ضرورت دارد.

با توجه به ضرورت احداث منهول‌ها و با عنایت به فاصله زهکش‌ها و طول شلنگ دستگاه شستشو دهنده، منهول‌ها را می‌توان دو در میان و یا سه در میان یعنی (دو عدد و یا سه عدد سه راهی و یکعدد منهول) احداث نمود تا هر دو منظور تأمین گردد.

طول و شیب زهکش‌های زیرزمینی: در آرایش منفرد، جهت کاهش تعداد زهکش‌های روباز جمع کننده سعی می‌شود که طول زهکش‌های لترال زیرزمینی هر چه بیشتر در نظر گرفته شود و معمولاً در شرایطی به ۱۰۰۰ متر نیز می رسد. در اینصورت جهت شستشوی زهکش‌ها نیاز به احداث ۲ تا ۳ منهول مخفی زیرزمینی است. که این امر علاوه بر ایجاد مشکلات در دوران بهره‌برداری، هزینه طرح‌های زهکشی را نیز بالا می‌برد. در صورتیکه با آرایش مرکب نیاز به طولانی نمودن زهکش‌های زیرزمینی نیست و طول لوله‌ها را بگونه‌ای می‌توان انتخا ب نمود که شیلنگ دستگاههای شستشو قادر باشند مستقیماً لوله را بطور کامل شستشو دهند. در این حالت لازمست طو ل لترالها خصوصاً در شرایط نظام خرده مالکی با بهره‌برداران پراکنده به حداکثر ۳۰۰ متر محدود گردد.

در خصوص شیب زهکش‌های زیرزمینی، با توجه به مشکلات مربوط به کارگذاری لوله و ایجاد موج در مسیر آنها و با عنایت به تجربیا ت نصب لوله‌های زهکشی در سایر کشورهای جهان، لازمست شیب لترالها را حداقل یک در هزار (یک متر در یک کیلومتر) در نظر گرفت. شکل (۵) آرایش ایده‌آل شبکه زهکشی زیرزمینی که تا حدودی مشابه آخرین پلان زهکشی در اراضی خرده مالکی کشور مصر است را نشان می‌دهد.



شکل(۵) آرایش بهینه شبکه زهکشی زیرزمینی

۶- زهکشی کنترل شده

زهکشی کنترل شده و یا کنترل سفره کم عمق آب زیرزمینی زیر ریشه گیاهان، در اراضی زهکشی شده ای کاربرد دارد که آب زیرزمینی سفره کم عمق دارای کیفیت مناسبی بوده و خاک دارای نفوذپذیری قابل قبولی باشد. معمولاً چنین شرایطی در مناطق مرطوب وجود دارد ولی در مناطق خشک و نیمه خشک نیز ممکن است شرایط استفاده از زهکشی کنترل شده پس از سالها بهره‌برداری از شبکه زهکشی فراهم گردد. اراضی زهدار و شور در مناطق گرم و خشک در ابتدا وضعیت بسیار بحرانی دارند و شبکه زهکشی برای وضعیت موجود و بحرانی اراضی طراحی می‌شود. شرایط این اراضی بتدریج تغییر کرده و نیازهای زهکشی آن نیز تغییر می‌کند ولی بدلیل شرایط اولیه نصب زهکش‌ها، امکان تغییر در آنها وجود ندارد.

در صورتیکه پس از اصلاح اراضی و شستشوی املاح و بهبود کیفیت آب زیرزمین، بوسیله ابنیه زهکشی کنترل شده می‌توان با مدیریت سفره آب زیرزمینی و کنترل زه‌آب، مصرف آب آبیاری و حجم زه‌آب

خروجی را کاهش داد و علاوه بر کاهش اثرات منفی زیست محیطی زه‌آب در مصرف آب آبیاری نیز صرفه جوئی نمود. زهکشی کنترل شده عمدتاً با دو هدف صورت می‌گیرد:

۱- با هدف کاهش کمی آب زهکشی و به حداقل رساندن مسائل مربوط به کیفیت آب و مشکلات زیست محیطی ناشی از آن.

۲- با هدف استفاده از آب زیرزمینی بعنوان آبیاری زیرزمینی و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاهان.

بوسیله زهکشی کنترل شده آب زیرزمینی کم عمق را می‌توان در اعماق مختلف کنترل نمود. در فصول خشک که جریان زهکشی کم و محدود است، سطح آب را نزدیک به زیر عمق ریشه و در فصول خنک با افزایش بارندگی و خیسی خاک سطح آب را می‌توان پائین تر نگهداشت.

در مناطق گرم و خشک کشور مسئله زهکشی کنترل شده در صورتی عملی است که کیفیت آب زیرزمینی مناسب باشد در غیر اینصورت زهکشی کنترل شده می‌تواند بسیار مسئله ساز باشد. چنانچه زمینها در طول سال مرتباً آبیاری شوند(مانند نیشکر و باغات) و جریان آب در طول سال از بالا به پائین ادامه یابد می‌توان از زهکشی کنترل شده سود برد. باید توجه داشت زهکشی کنترل شده در صورتی که با آبیاری زیرزمینی ترکیب نشود ممکن است نتواند اثر چندانی در کاهش حجم زه‌آب داشته باشد.

با توجه به شرایط آب و هوائی، نوع خاک، ریشه گیاه، کیفیت آب زیرزمینی، کیفیت آب آبیاری می‌توان در مزارع آزمایشی چگونگی امکان زهکشی کنترل شده را مورد آزمون قرار داد.

- یکی از مشکلات زهکشی کنترل شده اینست که به چه صورت انجام دهیم و با استفاده از چه نوع تجهیزاتی. زیرا سیستم بایستی ساده و کاربردی باشد و بگونه‌ای که مشکلات بهره‌برداری و کارگری زیادی ایجاد ننماید.
- در مناطقی مانند دشت مغان که شرایط آب و هوائی نسبت به جنوب کشور مناسبتر است و کیفیت آب و آب‌های زیرزمینی در حد قابل قبول است زهکشی کنترل شده بسیار موفق‌تر و مؤثرتر است و شاید در تمام سال قابل انجام باشد.
- در استان خوزستان برخی ماهها که هوا خنک‌تر است و تبخیر و تعرق گیاهان کم است با زهکشی کنترل شده می‌توان مصرف آب را به حداقل رساند ولی ممکن است در فصول بسیار گرم سال این امکان فراهم نباشد.

بنابراین در صورتی که آب زیرزمینی دارای کیفیت مطلوب و آبیاری پیوسته و در تمامی سال ادامه داشته باشد شرایط مطلوب برای زهکشی کنترل شده و آبیاری زیرزمینی و تأمین بخشی از نیاز آبی گیاهان وجود دارد. در هر حال بهتر است آب زیرزمینی در عمقی نگهداری شود که میزان کاپیلاری کمتر از ورودی آب آبیاری باشد تا تعادل لازم ایجاد شود.

در اراضی که تحت کشت قرار ندارند نبایستی زهکشی کنترل شده انجام شود. در این شرایط بهتر است عمق آب زیرزمینی در محلی تثبیت شود که باعث شوری خاک نگردد برای مثال در کشت و صنعتهای توسعه نیشکر در جنوب خوزستان که حدود ۸۰ هزار هکتار از اراضی زهکشی شده وجود دارد علی رغم

۱۰ تا ۱۵ سال از شروع بهره‌برداری EC آب زیرزمینی هنوز بحدی تقلیل نیافته است که بتوان زهکشی کنترل شده انجام داد در صورتیکه در کشت و صنعت‌های هفت تپه، میان آب و کارون شرایط زهکشی کنترل شده وجود دارد و تنها محدودیت عدم وجود جمع کننده های زیرزمینی و ابنیه جهت کنترل سطح آب می‌باشد.

۷- زهکش‌های سطحی دوستدار محیط زیست

زهکش‌های سطحی نقش چند جانبه و حساسی را در شبکه‌های آبیاری و زهکشی ایفاد می‌کنند و دامنه فعالیت و تأثیر آنها در طرح‌ها بسیار متفاوت است. بطور کلی نقش اصلی زهکش‌های سطحی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- انتقال و تخلیه سیلاب‌ها و رواناب ناشی از وقوع رگبارهای شدید در سطح و اطراف اراضی.
- انتقال و تخلیه آب مازاد سطحی و زیرزمینی آبیاری مزارع.
- مساعدت در بهبود شرایط زهکشی، ماندابی و اصلاح اراضی محدوده شبکه‌های آبیاری و در پاره‌ای مناطق حل کامل مشکلات فوق.
- دوستدار محیط زیست و دارای نقش مؤثر در پالایش و تصفیه زه‌آب عبوری از محیط سبز آنها و جذب بخشی از عناصر آلاینده مانند ازت.

نقش زهکش‌های سطحی در انتقال و تخلیه سیلابهای ناشی از وقوع رگبارها، انتقال و تخلیه رواناب سطحی و زیرزمینی آبیاری و تأثیر آنها در بهبود شرایط زهکشی و اصلاح اراضی تا حدودی شناخته شده است ولی نقشی که آنها بعنوان دوستدار محیط زیست در تصفیه عناصر آلاینده زه‌آب بعهده دارند ناشناخته است. در اینجا به نقش زهکش‌های سطحی در بهبود محیط زیست و چگونگی کاهش عناصر آلاینده زه‌آب اشاره خواهد شد.

زه‌آب شبکه‌های زهکشی به دلیل شوری اولیه خاک و مصرف مداوم انواع کودها و سموم کشاورزی به عناصر مختلفی مانند ازت، فسفر، علف کش‌ها ، حشره‌کش‌ها و عناصر دیگری آلوده است. برای کاهش حجم زه‌آب و افزایش کیفیت آن راه‌های مختلفی به شرح زیر وجود دارد.

- **استقرار شبکه زهکشی در عمق کمتر**: یکی از راههای مؤثر کاهش حجم زه‌آب شبکه‌های زهکشی زیرزمینی نصب لوله‌های لترال و زهکش‌های سطحی در عمق کمتر است. این امر باعث کاهش نسبی حجم زه‌آب خروجی کاهش نسبی آلاینده ها خواهد شد.
- **زهکشی کنترل شده به همراه آبیاری زیرزمینی**: اعمال زهکشی کنترل شده در طول سال ویا دربرخی ازفصول باعث کاهش کمی وبهبود کیفی زه‌آب خروجی ازشبکه‌های زهکشی خواهد شد.
- **استفاده از فیلترهای سبز در مسیر زه‌آب**: یکی از راههای مؤثر کاهش کمی و افزایش کیفیت زه‌آب حاصل از شبکه‌های زهکشی، عبور زه‌آب از محیط‌های سبز مانند مخازن آب پوشیده از علف و

زهکش‌های سطحی دارای نی وعلف‌های آبزی می‌باشد. با عبور زه‌آب از محیط‌های سبز مقداری از زه‌آب آلوده مصرف شده و به همراه آن عناصرآلاینده نیز کاهش خواهد یافت.

با توجه به نقش مسلم زهکش‌های سطحی سبز در کاهش حجم زه‌آب و کاهش آلاینده ها، بنابراین هرچه میزان نی و علفهای موجود در مسیر زهکش‌های سطحی بیشتر باشد و هرچه طول مسیر زهکش‌ها طولانی‌تر باشد اثرات مثبت زهکش‌ها در کاهش حجم زه‌آب و افزایش کیفیت آن بیشتر خواهد شد. برای نگهداری محیطی سبز در مسیر زهکش‌های سطحی مسائل زیر بایستی مورد توجه قرار گیرد.

- در زمان طراحی جهت پیش بینی ظرفیت لازم با شرایط علفی، ضریب زبری در زهکش‌های سطحی با توجه به میزان علف بین ۰/۱ تا ۰/۲ در نظر گرفته شود.
- از لایروبی زهکش‌ها بوسیله ماشین آلات سنگین مانند بیل مکانیکی و دراگ لاین جلوگیری شود.
- در صورت نیاز و ممانعت از دفع زه‌آب، با استفاده از دستگاه‌های مخصوص علف بر مسیر زهکش‌های سطحی پاک سازی شود بنحویکه در مدت زمان کوتاهی مجدداً علف‌های قبلی امکان سبز شدن را داشته باشند.

عکس زیر نحوه پاکسازی علف‌های هرز در مسیر زهکش‌های سطحی بوسیله دستگاه علف‌بر مخصوص را نشان می‌دهد

عکس(۱) پاکسازی علف‌های هرز در مسیر زهکش‌های سطحی بوسیله دستگاه علف‌بر

نتیجه گیری:

دهمین نشست کمیته جهانی زهکشی(ICID) که در ماه جولای (تیر ماه) سال ۲۰۰۸ در هلسینکی فنلاند برگزار شد اصلی ترین مسئله ای را که مورد هدف قرار داده شد مسائل زیست محیطی بود. در این کنفرانس اغلب مقالات مربوط به زهکشی و محیط زیست خصوصاً آلاینده‌های موجود در زه‌آب طرح‌ها و نحوه کاهش آنها بود و ما را به این نتیجه می‌رساند که **" زه‌آب کمتر با کیفیت بهتر "** ، بنابراین اصلاح معیارها و ضوابط طراحی شبکه های زهکشی لازمست علاوه بر توجه به مسائل اقتصادی و بهره‌برداری، مسائل زیست محیطی را مدنظر قرار داده و در اولویت قرار دهد. در خصوص لزوم بازنگری و تغییر ضوابط طراحی شبکه‌های زهکشی و اعمال آنها در طرح‌های زهکشی کشور لازمست به نکات زیر اشاره شود:

۱- **کاهش عمق نصب زهکش‌های زیرزمینی**: در خصوص کاهش عمق و فاصله زهکش‌های زیرزمینی می‌توان گفت که تقریباً تمامی متخصصین به این نتیجه رسیده اند که عمق نصب زهکش‌ها در نتیجه فاصله زهکش‌ها را تا حد امکان بایستی کم کنیم. در شرایط کشورمان برای مناطق معتدل عمق ۱/۵ – ۱/۲ متر و برای نقاط گرم و خشک و با شرایط آب و هوائی بحرانی ۲ – ۱/۵ متر پیشنهاد می-شود.

۲- **کاهش ضریب زهکشی**: کاهش ضریب زهکشی منجر به افزایش فاصله زهکش‌ها شده و هزینه‌های اجرائی طرح‌های زهکشی را کاهش خواهد داد. برای طرح‌های زهکشی کشور با الگوی کشت رایج ضریب زهکشی بین ۲ – ۱ میلیمتر در روز پیشنهاد می‌گردد. بدیهی است برای کشتهای خاص مانند نیشکر ممکن است نیاز به افزایش جزئی باشد.

۳- **کاربرد فیلترهای مصنوعی**: استفاده از فیلترهای مصنوعی تاریخی ۵۰ ساله دارد در صورتیکه ما تازه شروع کرده ایم. لازمست تدابیری اتخاذ گردد که سرعت استفاده از فیلترهای مصنوعی را بیشتر کنیم. هرچند برای دستیابی به چنین هدفی استفاده از نتایج مزارع آزمایشی و انجام تحقیقات لازم راه را هموار خواهد نمود.

۴- **اصلاح ضوابط انتخاب فیلترهای شن و ماسه**: ترکیب فیلترهای شن و ماسه خصوصاً بعد از تجربه ناموفق پاکستان در سال ۱۹۹۰ در استفاده از فیلترهای شن و ماسه USBR برای خاک‌های شور وریزدانه و ورود رسوبات به لوله‌های زهکشی تغییر یافته وضمن حذف شن درشت دانه‌ها، حداکثر قطر ذرات درشت به ۹/۵ میلیمتر یعنی $\frac{۱}{۴}$ قطرهای USBR **و** SCS محدود شده و ترکیب جدیدی از شن و ماسه پیشنهاد شده است که لازمست در خاکهای ریزدانه کشور مورد استفاده قرار گیرد.

۵- **اصلاح آرایش شبکه زهکشی**: پس از سالها تجربه در بهره بردرای از شبکه‌های زهکشی خصوصاً شبکه‌های زهکشی کشور مصر، پلان نهائی و بهینه شامل واحدهای زراعی به مساحت ۵۰ تا ۶۰ هکتار و یا کمی بیشتر پیشنهاد می‌شود بگونه ای که شبکه زهکشی زیرزمینی آن به جمع کننده

لوله‌ای تخلیه شده و منهول‌های آن بصورت ۲ در میان و یا ۳ در میان بگونه‌ای نصب می‌شوند که فاصله آنها حدود ۲۰۰ متر باشد. ضمناً طول لترالها حداکثر به ۳۰۰ متر و شیب لوله‌های زهکشی حداقل یک در هزار مورد تأکید قرار گرفت.

۶- **زهکشی کنترل شده**: ما می‌توانیم در برخی از طرح‌های زهکشی خصوصاً در استان خوزستان در طرح‌هائی که آب زیرزمینی شیرین شده و EC آن به حد قابل قبولی رسیده است از زهکشی کنترل شده استفاده کنیم و آنرا با آبیاری زیرزمینی در برخی فصول ترکیب کنیم. از این بابت صرفه جوئی در مصرف آب و صرفه اقتصادی زیادی نصیب ما می‌شود. مشکل اصلی اینست که شبکه‌های قدیمی زهکشی فاقد جمع کننده زیرزمینی جهت کنترل آب زیرزمینی هستند لذا بایستی از راههای دیگری زهکشی کنترل شده صورت گیرد و این امر ممکن است مشکلاتی را در پی داشته باشد. در طرح‌های جدید نیز بایستی بگونه‌ای عمل کنیم که اعمال زهکشی کنترل شده در آینده و پس از اصلاح اراضی و بهبود کیفیت آب زیرزمینی عملی باشد و مشکل بهره‌برداری ایجاد ننماید.

۷- **زهکش‌های سطحی سبز**: دیدگاه خود را به زهکش‌های سطحی تغییر دهیم و اجازه ندهیم ماشین آلات سنگین آرامش زهکش‌های سطحی ما را بر هم بزنند. محیط سبز آنها را حفظ کنیم و در صورت ضرورت فقط علفهای آنها را کوتاه نمائیم. تأثیر زهکش‌های سطحی در کاهش آلاینده ها امری مسلم است ولی جای تحقیق زیادی وجود دارد تا نقش آنها کاملاً شناخته شود و لازمست در این رابطه برنامه‌ریزی لازم صورت گیرد.

منابع:

۱- مریدنژاد ، علیرضا ۱۳۸۳. ضرورت توسعه کاربرد لوله بجای کانال در شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دومین کارگاه آموزشی ساده سازی. معاونت آب و خاک، وزارت جهاد کشاورزی.

۲- مریدنژاد ، علیرضا ۱۳۸۵. معیارها و ضوابط طراحی شبکه‌های زهکشی زیرزمینی. جزوه درسی.

۳- علیزاده ، امین ۱۳۸٤. زهکشی جدید. انتشارات آستان قدس رضوی.

٤- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران ۱۳۸۰. مجموعه مقالات دومین کارگاه فنی زهکشی. نشریه شماره ٤۲.

۵- کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۳. مجموعه مقالات سومین کارگاه فنی زهکشی برگزار شده در ۲۳ مهر ماه ۱۳۸۳.

٦- گزارش فنی شبکه زهکشی زیرزمینی اراضی کشت و صنعت شمال خرمشهر، سال ۱۳۸۳، مهندسین مشاور سامان آبراه.

7- Vlotman, Willem F., Willardson, Lyman S., Dierickx, Willy. 2000. Envelope design for subsurface drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

8- Amer, M.H., de Ridder, N.A. 1989. Land Drainage in Egypt. Drainage Research Institute / DRI, Cairo, Egypt.
9- Nijland, H.J.,2000. Drainage Along The River Nile. Ministry of public works and water Resources , Egypt. Egyption Public Authority for Drainage Projects / EPADP. Ministry of public works and Water Management – The Netherlands, Directiorate- General of public works and water Management / RIJKSWATERSTAAT.
10- FAO, 1979. Drainage design factors, Irrigation and Drainage paper 38. FAO/Rome/Italy.
11- FAO, 2005. Materials for subsurface land drainage systems, Irrigation and Drainage paper 60, Rev. 1. FAO/ Rome/Italy.
12- FAO, 2007. Guidelines and Computer programs for the planning and design of land drainage systems, Irrigation and Drainage paper 62. FAO/ Rome/Italy.
13- ICID, 2008. Proceedings of the 10th Internationa/Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage Helsinki/Tallinn 6 – 11 July 2008. Helsinki University of Technology Water Resources Publications 16, Espoo.
14- A Water Resources Technical Publication. 1984. Drainage Manual. U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, United states Government Printing office, Denver, Colorado 1984.
15- Smedema, Lambert K. 2007. Revisiting Currently Applied pipe Drain Depths for Water logging and Salinity Control of Irrigated Land in the (Semi) Arid Zone. Irrigation and Drainage 56. 379 – 387 Published Online in Wiley Inter Science.

پنجمین کارگاه فنی زهکشی و محیط زیست
۱۶ آبان ماه ۱۳۸۷

بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی در اراضی شالیزاری
(مطالعه موردی:کاپیک)

حدیثه نوری[۱]، حمید زارع ابیانه[۲]، عبدالمجید لیاقت[۳]، حمیده نوری[۴]

چکیده

برنج از مهمترین غلات در دنیا بوده و پس از گندم مقام دوم را دارد و در ایران نیز برنج از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. برای داشتن عملکرد محصول بالا در اراضی شالیزاری استفاده از عناصر غذایی یا کودهای شیمیایی ضروری می‌باشد. استفاده از کودهای شیمیایی در اراضی شالیزاری و آبشویی این کودها با آب آبیاری و باران منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی در این اراضی می‌گردد. با توجه به اینکه در اراضی شالیزاری آبیاری بصورت غرقابی یا متناوب با دور آبیاری کوتاه انجام می‌گیرد، مقدار تلفات کود به صورت عمقی در اثر انجام آبیاری به مقدار قابل توجهی افزایش می‌یابد که خود سبب افزایش آلودگی آب‌های زیرزمینی و کاهش بهره‌وری مصرف کود می‌شود.

این تحقیق در اراضی شالیزاری واقع در مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز در شهرستان آمل انجام گرفت. نمونه‌برداری از آب زیرزمینی قبل و بعد از انجام عملیات کوددهی در اراضی شالیزاری توسط پیزومترهای نصب شده در این اراضی در فواصل زمانی مختلف انجام شد و آزمایشات کیفیت آب بر روی نمونه‌ها با اندازه‌گیری عناصر و ترکیباتی مانند نیترات، فسفات و تعدادی از کاتیونها و آنیون‌ها انجام گرفت. نتایج حاکی از مقدار قابل توجهی از نیترات در آب‌های زیرزمینی کم‌عمق این اراضی می‌باشد. غلظت نیترات در پایان دوره اندازه‌گیری مربوط به کوددهی اول ۷ درصد و در پایان دوره اندازه‌گیری مربوط به

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی داشگاه بوعلی سینا همدان، Hadiseh_noori@yahoo.com
۲- گروه آبیاری و زهکشی دانشگاه بوعلی سینا همدان، Zare_h2000@yahoo.com
۳- دانشیار گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران aliaghat@ut.ac.ir
۴- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران، hnoory@ut.ac.ir

کوددهی دوم ۱۲ درصد نسبت به مقدار اولیه قبل از شروع عملیات کوددهی افزایش یافت. مقادیر غلظت فسفر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب زیرزمینی کم‌عمق پس از عملیات کوددهی افزایش معنی‌داری را نسبت به مقدار اولیه آن نشان نداد.

کلمات کلیدی: اراضی شالیزاری، آلودگی آب‌های زیرزمینی، فسفات، نیترات.

مقدمه:

برنج از مهمترین غلات در دنیا بوده و پس از گندم مقام دوم را دارد و در ایران نیز برنج از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در سال‌های اخیر برای داشتن عملکرد بالای محصول در اراضی شالیزاری اقداماتی چون اصلاح بذر و استفاده از عناصر غذایی یا کودهای شیمیایی به شدت افزایش یافته است. مصرف کودهای شیمیایی بدون توجه به آثار سوء بر خصوصیات خاک، محصولات کشاورزی و بویژه محیط زیست بطور قابل توجهی افزایش یافته است. در سال‌های دور محققین و کشاورزان بر این تصور بودند که بقایای کودها و سموم در خاک باقی مانده و آسیبی به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی نمی‌رساند. اما کشف بقایای کودها (مثل نیترات) و سموم (ددت) در آب‌های سطحی و زیرزمینی نادرستی این طرز تفکر را به اثبات رساند. بررسیهای بعدی نشان داد آلودگی‌های آب‌های سطحی و زیرزمینی علاوه بر نیترات شامل فسفات، فلزات سنگین و سموم نباتی نیزمی‌باشد (مدراموتو[1] و همکاران، ۱۹۹٤).

استامپلی[2] و همکاران (۲۰۰٦) به بررسی کاهش اثرات زیست محیطی حاصل از آلودگی‌های نیترات اراضی کوبس کانادا در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که زهکشی زیرزمینی با مدیریت سطح ایستابی در عمق ۰/۸ متری پایین‌تر از سطح زمین عملکرد محصول ذرت را در حدود ۳۵ درصد در مقایسه با زهکشی آزاد افزایش داده است. این افزایش عملکرد خود سبب افزایش کارایی مصرف آب در حدود ۵/۱ و ۷/۱ کیلوگرم در مترمکعب به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ گردید.

ریتزما[3] و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعات خود بر روی ۵/۵ میلیون هکتار از اراضی هندوستان که دارای مشکل شوری، قلیایی و غرقابی بودند به این نتیجه رسیدند که با اجرای سیستم زهکشی زیرزمینی در این اراضی سطح ایستابی و شوری خاک هر کدام به ترتیب ۲۵ و ۵۰ درصد نسبت به اراضی که فاقد زهکش زیرزمینی بود کاهش پیدا نمود.

داتا[4] و همکاران (۲۰۰٤) در مطالعات خود در اراضی شمال غربی هند که مشکل شوری داشتند به این نتیجه رسیدند که زهکشی زیرزمینی علاوه بر بهبود شوری خاک و زهاب خروجی سبب کاهش آلودگی منابع آبی گردیده است. علاوه بر این ایجاد زهکشی زیرزمینی درآمد کشاورزان را افزایش داده، عملکرد محصول را به مقدار قابل توجهی افزایش داده است و ایجاد اشتغال نموده است.

1- Madramootoo
2- Sstampfli
3-Ritzema
4 -Data

ماتیو[1] (۲۰۰٤) در مطالعات خود به بررسی اثرات زهکشی زیرزمینی در قسمتی از اراضی شالیزاری هند که مشکل اسید سولفاته دارند پرداخت و به این نتیجه رسید که با احداث زهکشهای زیرزمینی در مدت ۲ سال مشکل اسیدی بودن این اراضی برطرف شد و عملکرد محصول برنج به مقدار ٤۳ درصد یا ۱/۱ تن در هکتار افزایش پیدا کرد. آنالیز اقتصادی این طرح نشان داد که نسبت سود بر هزینه در این طرح ۲/٤٥ بوده است.

استوارت[2] و همکاران (۲۰۰٥) در مطالعات خود دریافتند که مقادیر زیاد نیترات در زهآبها نشان دهنده کاربرد نامناسب کود و راندمان پایین کوددهی بوده که علاوه بر افزایش هزینهها، سبب آلودگی آبهای زیرزمینی و سطحی شده و رشد جلبکها را در دریاچهها و تالآبها افزایش میدهد.

اسکاویا[3] و همکاران (۲۰۰۳) در بررسیهای خود بر روی آلودگی رودخانه میسیسیپی دریافتند که اراضی کشاورزی غربی و میانی آمریکا منبع اصلی آلودگی نیترات در این رودخانه هستند.

ویلیز[4] و همکاران (۱۹۹۸) کنترل سطح ایستابی را ابزار مناسبی برای مدیریت رطوبت خاک و کاهش تجمع نیترات در آبهای سطحی و زیرزمینی در خاکهای با سطح ایستابی بالا معرفی میکند.

برو[5] و همکاران (۱۹۹۸) در تحقیقات متعددی که انجام دادند به این نتیجه رسیدند که زهکشی زیرزمینی آلودگی و تلفات نیترات را افزایش داده و آلودگی عناصر دیگر مانند فسفات را در آبهای زیرزمینی کاهش داده است.

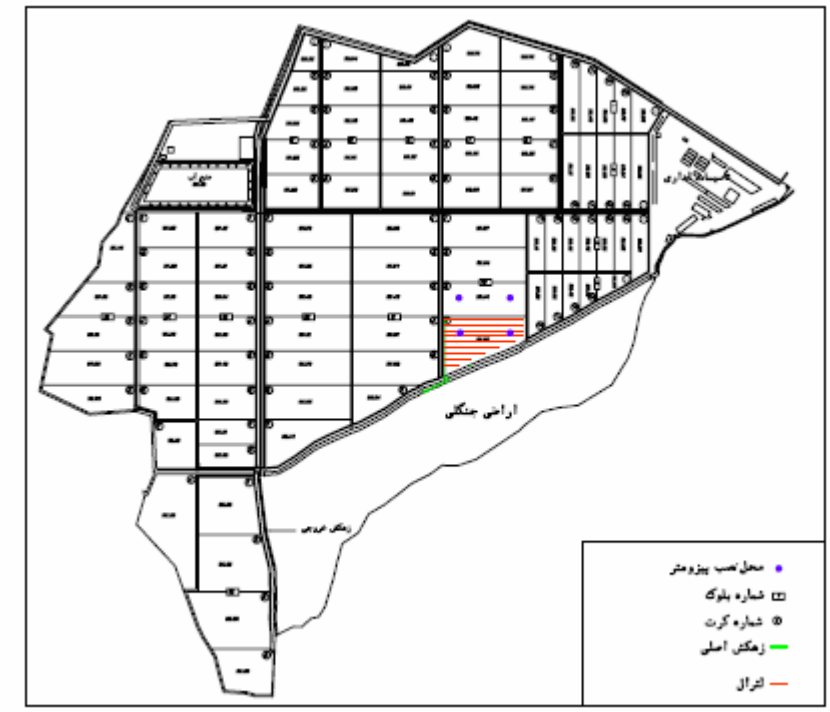
با توجه به اینکه در اراضی شالیزاری آبیاری اغلب بصورت غرقابی یا متناوب با دور کوتاه آبیاری انجام میگیرد و مقدار زیادی آب در هر آبیاری وارد زمین میگردد، میزان تلفات کود به صورت عمقی در اثر انجام آبیاری به مقدار قابل توجهی افزایش مییابد که خود سبب افزایش آلودگی آبهای زیرزمینی و کاهش بهرهوری مصرف کود میشود. هدف این مقاله بررسی آلودگی آبهای زیرزمینی کمعمق تحت اراضی شالیزاری در اثر آبیاری و کوددهی میباشد.

مواد و روشها:

این تحقیق در سال ۱۳۸۷ در اراضی شالیزاری مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز واقع در ۱۰ کیلومتری جاده آمل- محمودآباد در استان مازندران انجام شد. میانگین بارندگی سالانه در این منطقه ۸۸۲/٦ میلیمتر و میانگین درجه حرارت سالانه ۱٦ درجه سانتیگراد میباشد. طول و عرض جغرافیایی منطقه به ترتیب $52°17'$ و $36°58'$ بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ٥/٥ متر میباشد. نوع بافت خاک سیلتی رسی میباشد. این منطقه دارای ۸۹ کرت شالیزاری جمعاً به مساحت ٦۰ هکتار و مجهز به زهکشهای سطحی با فاصله ۲۰۰ تا ٤۰۰ متر میباشد و تعداد ٤ کرت مجهز به سیستم زهکشی زیرزمینی میباشند.

1- mathew
2- Stewart
3- scavia
4- Willis
5- Breve

این تحقیق در دو کرت، یکی فاقد زهکش زیرزمینی و دیگری دارای زهکش زیرزمینی واقع در بلوک ۱۰ اراضی شالیزاری کاپیک انجام شده است (شکل ۱).



شکل ۱- اراضی شالیزاری مرکز ترویج و توسعه تکنولوژی هراز (کاپیک)

لوله‌های زهکش زیرزمینی استفاده شده از جنس پلی‌اتیلن و بصورت موجدار سوراخدار بوده که قطر آن ۱۰۰ میلیمتر، فاصله آنها از یکریگر ۱۰ متر و عمق کارگذاری آنها از ۷۰ تا ۹۳ سانتی‌متر (با توجه به شیب) می‌باشد. زهکش جمع‌کننده زیرزمینی دارای سازه کنترل در قسمت خروجی می‌باشد که این سازه به منظور ایجاد حالت غرقابی در اراضی شالیزاری و جلوگیری از خروج آب زهکش در فصل کشت برنج بسته می‌باشد و در زمان زهکشی میان فصل و قبل از برداشت محصول که جهت تسریع خروج آب از خاک و در فصل دوم زراعی برای انجام کشت دوم باز می‌باشد. واریته برنج کاشته شده، تاریخ کاشت، نوع آب مصرفی، نوع آبیاری، میزان کود مصرفی و ماشین آلات مورد استفاده در این دو کرت یکسان می-باشد. آب مورد استفاده در این دو کرت از چاه‌های عمیقی که در منطقه موجود می‌باشد تأمین شده و توسط پمپ به کانالهای انتقال بتنی بالای این اراضی وارد شده و در میان اراضی توزیع می‌شود. آبیاری به روش غرقابی و به صورت متناوب با دور آبیاری کوتاه انجام می‌شود. کودهای مصرفی در فصل کشت برنج شامل اوره به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار، سولفات دو پتاس به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و سوپر فسفات تیریبل به میزان ۵۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

مشخصات کیفی آب آبیاری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از انتقال نشأ در جداول ۱ و ۲ نشان داده دشده است. قبل و بعد از انجام عملیات کوددهی در اراضی شالیزاری، نمونه‌برداری از آب زیرزمینی توسط پیزومترهای نصب شده در این اراضی در فواصل زمانی مختلف انجام شده و آزمایشات کیفیت آب بر روی نمونه‌ها با اندازه‌گیری عناصر و ترکیباتی مانند نیترات، فسفات و تعدادی از کاتیون‌ها و آنیون‌ها انجام گرفت.

جدول ۱- مشخصات کیفی آب آبیاری

$Mg^{2+}+Ca^{2+}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Hco_3^-	Co_3^{2-}	Cl^-	سختی کل	قلیائیت	$N\text{-}NO3^-$	pH	EC
me/l						mg/l				ds/m
۱۳/۵	۳	۱۰/۵	۵	۰	۱	٦۷۵	۲۵۰	۷/۳۳	۷/۹۸	۰/٦۵

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از نشأکاری

(Caco3) قلیایت (mg/l)	SP (درصد اشباع)	%Sand	%Silt	%Clay	نوع بافت	pH	EC (dS/m)	N-NO3 (mg/l)	عمق خاک
۲۵۰	٦٦/٤۲	۱۱/۷۱	٤٦/٤۲	٤۱/۸۷	Silty Clay	۸/۲۸	۰/۸	۷/۵۸	۰-۳۰
۲۲۰	٦۹/۹۵	۸/۷۱	٤۷/۰۹	٤٤/۲۰	Silty Clay	۸/۲٦	۰/٦۹	۱۲/۲	۳۰-٦۰
۲۲۰	٦۵/٦۱	۹/۹٦	٤۸/۱۷	٤۱/۸۷	Silty Clay	۸/۲٦	۰/٦٤	۸/۲۵	٦۰-۹۰

نتایج:

غلظت نیترات $N-NO_3^-$، فسفر محلول، و سایر آنیون‌ها و کاتیونها در آب زیرزمینی کم عمق اراضی شالیزاری کاپیک قبل و بعد از عملیات کوددهی اندازه‌گیری شد. در جدول ۳ خلاصه‌ای از مقادیر پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی کم‌عمق تحت اراضی شالیزاری مورد مطالعه قبل و بعد از کوددهی ارائه شده است.

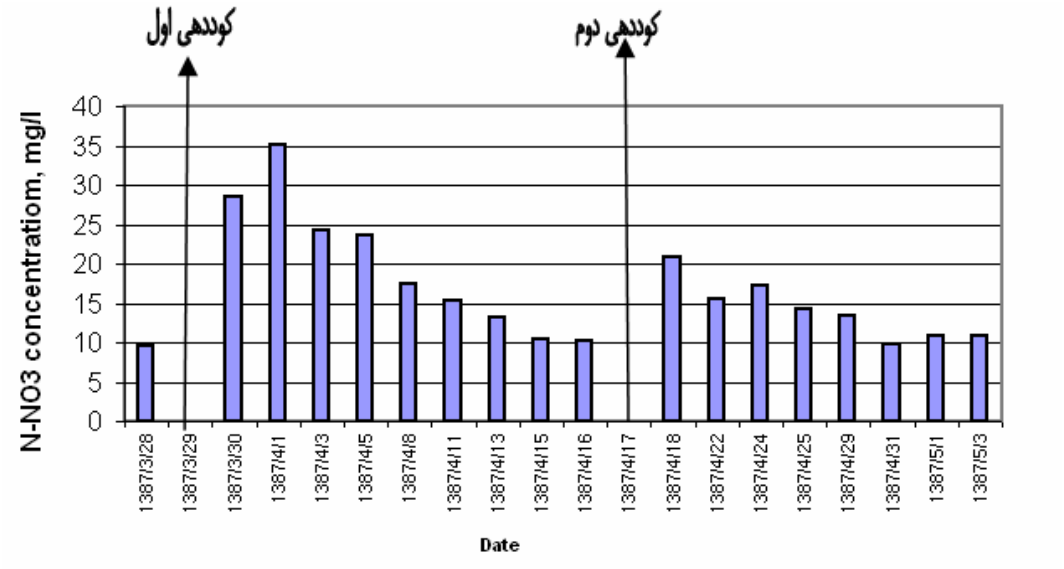
جدول ۳- پارامترهای کیفی در آب زیرزمینی کم‌عمق تحت اراضی شالیزاری مورد مطالعه قبل و بعداز کوددهی

پارامترهای کیفی آب	قبل از کوددهی			بعد از کوددهی			محدوده مجاز
	میانگین	S.D.	بازه تغییرات	میانگین	S.D.	بازه تغییرات	
pH	۸/۱۳	۰/۰۹	۸/۰۵ – ۸/۲٤	۸/۲۳	۰/۲	۷/۷ – ۸/۵	٦/۵-۸/۵
EC (dS/m)	۰/٦۷	۰/۰۷	۰/٦ -۰/۷۵	۰/٦٦	۰/۱	۰/۵۵ -۰/۹۲	۳
Mg^{2+} (me/l)	۹	۲/۸۵	٦/٦ – ۱۳	۸/٤	۱/۸	٤ -۱۲/۲	۱۰۰
Ca^{2+} (me/l)	۲/۸	۱/۹۳	۱ – ۵/۵	۱/۷	۰/۵۹	۱-۳	۷۵
TDS (mg/l)	٤۲۷	٤۷/٤۳	۳۸٤ – ٤۸۰	٤۲۰	٤۲/۳	۳۹۲-٤۳۵	۵۰۰
قلیائیت (mg/l)	۱۹٦	۷۷/۸۲	۱۲۵ – ۳۰۰	۲۵٦	۵۵/۳۳	۱۹۰-۳۵۰	۵۰۰
سختی کل (mg/l)	۷۸۷/۵	۱۸۳/۸۷	۵۹۵ – ۱۰۰۰	۷٦۲	۱۱۷/۳	٤۵۰-۹۱۵	۵۰۰
نیترات (mg/l)	۹/۵۳	۰/۸٤	۸/۵ – ۱۰/۵	۱۷/۱۱	۷/۲	۹/۸ – ۳۵/۲	۱۰
فسفر محلول (mg/l)	۰/۱۷۳	۰/۰۲	۰/۱۵۷ – ۰/۱۸۹	۰/۱٦۲	۰/۰٦	۰/۱۵٦ -۰/۱۸۲	٤

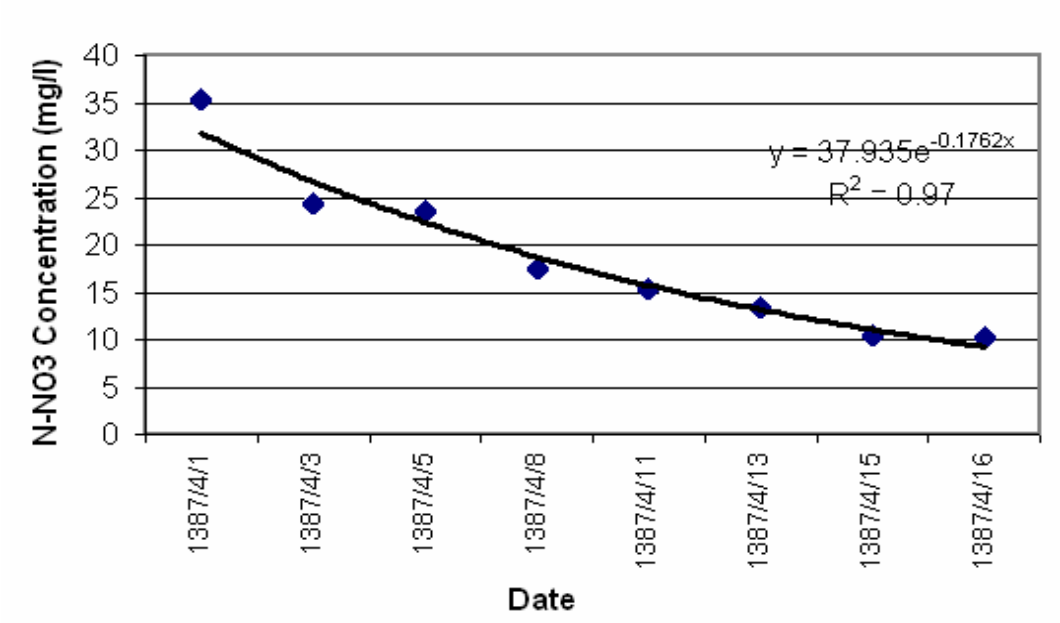
نمونه‌گیری از آب زیرزمینی کم عمق ۱۵ روز پس از نشأکاری در تاریخ ٤ تیرماه، پنج روز پس از اولین دوز کوددهی (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات دو پتاس و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تیریبل) آغاز گردید و در روزهای پس از کوددهی ادامه یافت. در این حد فاصل آبیاری نیز در زمان‌های مشخصی انجام شده است.

مقادیر غلظت نیترات اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب زیرزمینی کم عمق در تاریخ‌های قبل و بعد از عملیات کوددهی در شکل ۲ نشان داده شده است. غلظت نیترات در آب زیرزمینی کم عمق قبل از کوددهی اول (دوز اول) به عنوان غلظت اولیه نیترات در نظر گرفته می‌شود و به طور متوسط برابر با ۹/۵۳ میلی‌گرم در لیتر بود که در مقایسه با غلظت مجاز نیترات $N-NO_3^-$ (۱۰ میلی‌گرم در لیتر) بیانگر وضعیت نامناسب است. غلظت نیترات در ۱ تیرماه یعنی ۳ روز پس از کوددهی حداکثر مقدار را داشت و از آن تاریخ به بعد روند کاهش تدریجی تا قبل از کوددهی دوم (دوز دوم) مشاهده گرید. غلظت نیترات در تاریخ ۱۵ و ۱٦ تیرماه غلظت نیترات به حدوداً ۳۰ درصد مقدار پیک تنزیل یافت ولی این مقدار نسبت به غلظت اولیه (قبل از کوددهی اول) هنوز ۷ درصد بیشتر بود. روند کاهش غلظت نیترات بعد از کوددهی یک روند نمایی است (شکل ۳).

بهبود رژیم رطوبتی خاک از طریق تر و خشک شدن پیوسته خاک در اثر انجام آبیاری متناوب برنج و همچنین شرایط مناسب خاک از نظر شوری و pH (جدول۲)، انجام فرایندهای نیتروژن‌زایی (نیتریفیکاسیون) و نیتروژن‌زدایی (دنیتریفیکاسیون، جذب توسط گیاه) و همچنین فرآیند جذب سطحی توسط ترکیبات رس خاک را بهبود بخشیده است. در این شرایط نیترات $N-NO_3^-$ تشکیل شده است و علاوه بر جذب توسط گیاه، وارد آب زیرزمینی کم عمق در تحت اراضی شالیزاری مورد مطالعه شده است و مقادیر پیک آن در روزهای پس از کوددهی دیده می‌شود.



شکل ۲- غلظت نیترات در آب زیرزمینی کم عمق در اراضی شالیزاری کاپیک قبل و بعد از عملیات کوددهی



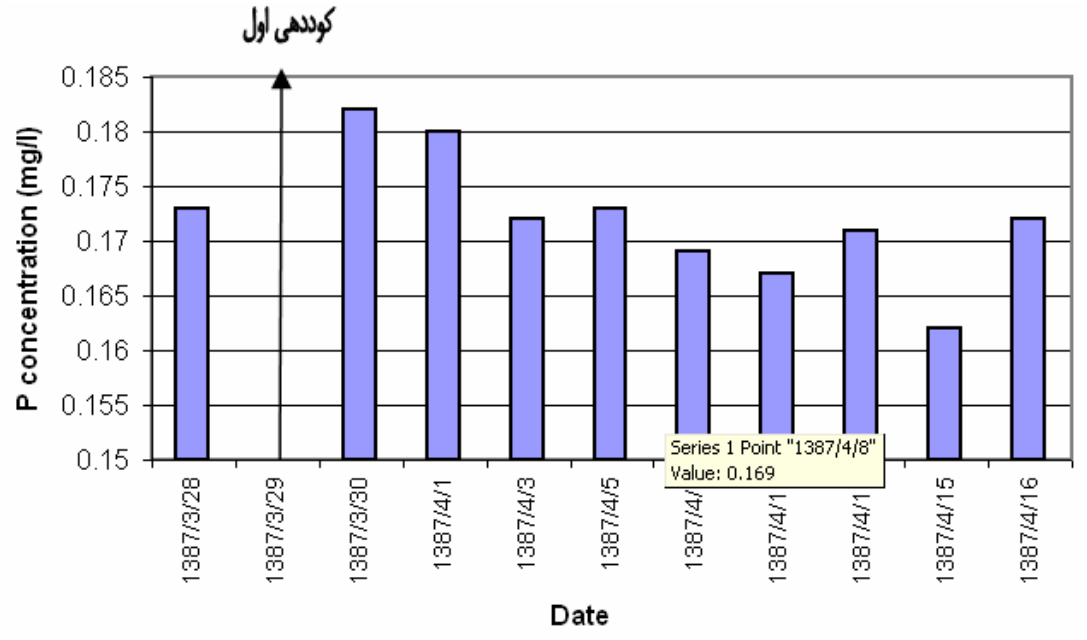
شکل ۳- روند کاهشی نمایی غلظت نیترات در آب زیرزمینی کم عمق در اراضی شالیزاری کاپیک بعد از عملیات کوددهی

با گذشت زمان و انجام آبیاری متعدد و در نتیجه بالا آمدن سطح ایستابی کم‌عمق و غرقاب شدن متعدد خاک در بازه اندازه‌گیری‌ها، علاوه بر جذب نیترات توسط گیاه، تغییر فرم نیترات به نیتروژن آزاد انجام شده است و در نتیجه با ادامه روند نزولی، غلظت نیترات در آب زیرزمینی کم‌عمق به مقدار معینی کاهش می‌یابد. در شرایطی که سطح ایستابی در بازه‌های زمانی معینی در رقوم بالا قرار داشته باشد اثرات دنیتریفیکاسیون افزایش یافته و در کاهش آلودگی نیتروژن ـ نیترات بسیار اساسی است. در وضعیت سطح ایستابی بالا، شرایط غیرهوازی ایجاد می‌شود و میکروارگانیسم‌های موجود در خاک در غیاب اکسیژن نیترات را آزاد می‌کنند.

غلظت نیترات در پایان دوره اندازه‌گیری مربوط به کوددهی اول ۷ درصد و در پایان دوره اندازه‌گیری مربوط به کوددهی دوم ۱۲ درصد نسبت به مقدار اولیه قبل از شروع عملیات کوددهی (۹/۵۳ میلی‌گرم در لیتر) افزایش یافت. متأسفانه به علت عدم برداشت کیفیت آب زیرزمینی در سال‌های مختلف، بررسی بلندمدت تغییرات غلظت نیترات در این مقاله ممکن نمی‌باشد، لیکن با توجه به اینکه در سال‌های مختلف مدیریت نسبتاً یکسانی از نظر کوددهی و آبیاری در اراضی مورد مطالعه وجود دارد و منطقه به طور عمده فاقد سیستم زهکشی زیرزمینی است پیش‌بینی می‌گردد که در سال‌های آینده با مشکل آلودگی نیتراتی شدید آب‌های زیرزمینی تحت اراضی شالیزاری در این منطقه مواجه شویم.

مقادیر غلظت فسفر محلول اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب زیرزمینی کم عمق در تاریخ‌های قبل و بعد از عملیات کوددهی در شکل ٤ نشان داده شده است.

غلظت فسفر محلول در آب زیرزمینی کم عمق اراضی شالیزاری کاپیک قبل از کوددهی اول (دوز اول) به عنوان غلظت اولیه فسفر در نظر گرفته می‌شود و به طور متوسط برابر با ۰/۱۷ میلی‌گرم در لیتر است که در مقایسه با غلظت مجاز فسفر محلول (جدول۳) بیانگر وضعیت مناسب است. مقادیر غلظت فسفر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های آب زیرزمینی کم‌عمق پس از عملیات کوددهی افزایش معنی‌داری (سطح اطمینان ۹۵٪) را نسبت به مقدار اولیه آن نشان نداد. ترکیبات فسفر در مقایسه با نیترات قابلیت انحلال و جابجایی بسیار کمتری در محیط خاک دارند و در اثر آبشویی و یا نفوذ عمقی مقادیر کمتری از آن از محیط خاک شسته شده و وارد آب زیرزمینی می‌شود.



شکل ٤- غلظت فسفر محلول در آب زیرزمینی کم عمق در اراضی شالیزاری کاپیک قبل و بعد از عملیات کوددهی

اراضی شالیزاری مورد مطالعه بیش از ٢٤ سال است که تحت کشت برنج هستند و سالانه حداقل مقادیر کود برابر۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات دو پتاس و ۵۰ کیلوگرم در هکتار سوپر فسفات تیریبل مورد استفاده قرار می‌گیرد. یافته‌های این مطالعه تجمع نیترات قابل‌ملاحظه‌ای در آب زیرزمینی تحت این اراضی در اثر زیرکشت بردن و استفاده از کودها به صورت مداوم نشان می‌دهد و خطر آلودگی شدیدتری را نیز برای سال‌های آینده پیش‌بینی می‌کند. البته حضور سطح ایستابی کم‌عمق در این اراضی نقش مهمی را در بهبود فرایند نیترات زدایی و کنترل آلودگی نیتراتی آب‌های زیرزمینی تحت این اراضی تا به امروز داشته است.

در اراضی شالیزاری کاپیک تاکنون تعداد ٤ کرت از ۸۹ کرت تحت بهره‌برداری (٤٪ مساحت کل اراضی شالیزاری مورد مطالعه)، مجهز به سیستم زهکشی زیرزمینی شده‌اند که خروجی زهکش‌های زیرزمینی در

طول فصل کشت برنج بسته است و در زمان زهکشی میان‌فصل و روزهای قبل از برداشت محصول باز تا امکان تخلیه زه‌آب میسر گردد. البته در ماههای پس از برداشت محصول برنج (فصل دوم زراعی) نیز در صورت داشتن یا نداشتن کشت دوم خروجی زهکش زیرزمینی باز است و تخلیه رطوبت خاک و کنترل سطح آب زیرزمینی انجام می‌شود. احداث زهکش زیرزمینی در کل اراضی شالیزاری این منطقه علاوه بر تأثیر مثبتی که در افزایش محصول برنج و امکان کشت دوم در این اراضی دارد نقش بسیار مهمی در تخلیه نیترات و سایر آلاینده‌ها (از طریق حائل کردن و جمع آوری کردن جریانات رو به پایین از منطقه توسعه ریشه) که در اثر آبشویی وارد آب زیرزمینی خواهند شد، دارد. به عبارتی زهکشی زیرزمینی این قابلیت را دارد که در اراضی شالیزاری به خصوص در فصل دوم کشت (که معمولاً مقادیر بارش و آبشویی خاک قابل‌ملاحظه است) کیفیت آب زیرزمینی را حفظ و کنترل کند. تحقیقات انجام شده توسط سین و همکاران (۲۰۰۲) در اراضی شالیزاری مجهز به سیستم زهکشی زیرزمینی در هند نیز نشان دهنده نقش مثبت زهکشی زیرزمینی در کنترل آلودگی آب‌های زیرزمینی تحت این اراضی می‌باشد.

منابع:

1- Datta, K. K., Tewari, L. and Joshi, P. K., (2004). Impact of subsurface drainage on improvement of Crop production and farm income in north-westIndia. Irrigation and Drainage Systems 18: 43–55.
2- Breve, M. A., Skaggs, R. W., Parsons, J. A. and Gilliam., J. W., (1998). Using the DRAINMOD-N model to study effects of drainage system design and management on crop productivity, profitability and NO_3-N losses in drainage water. Agricultural water management 35. PP.227-243.
3- Mathew, e. k., (2004). Adaptability constraints of a technically and economically feasible subsurface drainage system in the low-lying acid sulphate soils of Kerala,Indi. Irrigation and Drainage Systems 18: 329–346.
4- Ritzema, H.P., Satyanarayana, T. V., Raman, S. and Boonstra. J., (2008). Subsurface drainage to combat waterlogging and salinity in irrigated lands in India: Lessons learned in farmers' fields. Agricultural water management. P179-189.
5- Breve, M., Skaggs, R., Parsons, J. and Gilliam, J., (1998). Using the DRAINMOD-N model to study effects of drainage system design and management on crop productivity,Profitability and NO3-N losses in drainage water. Agricultural water management 35: 227-243.
6- Willis, G. H., Southwick, L. M., Fouss, J.L. and Brown, L.C., (1998). Nitrates in runoff and leachate from controlled water table plots on a Mississippi river alluvial soil. Drainage in the 21 st century: food production and the environment, proceedings of the seventh international drainage symposium, Orlando. Florida. USA. 8-10.559-566.
7- Madramootoo, C.A., Dodds, G.T. and Alikhani, Z., (1994). Proceedings of a national policy workshop on sustainable land and water resources management. Agricultural and biosystems department of Mcgill University, Macdonald Campus,

21111 Lakeshore Road, Sainte Anne-de-Bellevue, Quebec, H9X 3V9, Canada. PP. 65.

8- Singh, M., Bhattacharya, A.K., Nair, T.V.R. and Singh, A.K., (2002). Nitrogen loss through subsurface drainage effluent in coastal rice field from India. Agricultural water management 52. PP.249-260.

9- Stampfli, N., Madramootoo, CH., (2006). Water table management: A technology for achieving more crop per drop. Irrigation and Drainage Systems 20: 41-55.

10- Stewart, L., Charlesworth P., Bristow K., Thorburn P., 2005, Estimating deep drainage and nitrate leaching from the root zone under sugarcane using APSIM-SWIM. Agricultural Water Management.