سومین کارگاه فنی زهکشی
۲۳ مهر ماه ۱۳۸۳

زهکشی به روش زیستی (Biodrainage)

عبدالمجید لیاقت[۱]

۱- چکیده:

کشاورزی پایدار در اراضی فاریاب به وجود سیستم زهکشی طبیعی یا مصنوعی که نمک و آب اضافی را از خاک خارج می‌سازد، وابسته است. در بسیاری از مناطق زهکشی طبیعی ناکافی است و ایجاد زهکشی مصنوعی به صورت روباز یا زیرزمینی علاوه بر بروز مسایل زیست محیطی خیلی گران تمام می‌شود. در چنین مناطقی جا دارد که از روشهای دیگر برای انتقال آب و نمک اضافی استفاده گردد. روشهای نوین در زهکشی شامل زهکشی زیستی، زهکشی خشک و اگروفورستری هستند که در این مقاله زهکشی زیستی مورد توجه قرار گرفته است. هدف اصلی این روش، استفاده پایدار و بهینه از اراضی فاریاب و جلوگیری از زهدارشدن و شوری اراضی حاصلخیز است. بر خلاف زهکشی مصنوعی که وابسته به وسایل مکانیکی است، زهکشی زیستی با کمک گیاهان در کنترل شوری و سطح ایستابی نقش دارند. گیاهان با نیروی محرکه کشش تعرقی، آب زیرزمینی را به اتمسفر پمپ می‌نمایند. این روش به عنوان یک روش کم هزینه و در عین حال مطمئن برای حل مشکلات زهکشی در مناطق خشک و نیمه خشک مطرح است.

تأثیر این روش در کنترل آب و نمک به عواملی چون اقلیم، خصوصیات خاک، نوع محصول، روش آبیاری و کیفیت شیمیایی آب آبیاری وابسته است. این روش در مناطقی که سطح ایستابی بالا بوده و شدت تبخیر نیز زیاد است، عملکرد خوبی خواهد داشت. تأثیر این روش در کنترل سطح ایستابی به اثبات رسیده، ولی در مورد کنترل شوری نظرات مطمئن و روشنی مخصوصاً در استفاده طولانی مدت وجود ندارد. بهر حال این روش ممکن است در روند شوری مؤثر بوده و مشکل شوری را به تأخیر بیاندازند.

زمین لازم برای احداث زهکشی زیستی در مناطق تحت آبیاری کمتر از ۱۰ درصد است که در مقایسه با افت زمین در روشهای دیگر زهکشی تفاوت چندانی ندارد. در زهکشی زیستی نکات زیر قابل توجه است؛

۱- دانشیار گروه آبیاری دانشگاه تهران

گیاهان بکار رفته باید قادر به رشد در منطقه باشند و میزان مصرف آب یا شدت تعرق در آنها بالا باشد، گونه‌های مذکور باید مثمر ثمر بوده و عملکرد خوبی داشته‌باشند، تا حد امکان به شوری مقاوم بوده و از ریشه‌های نسبتاً عمیقی برخوردار باشند تا بتوانند آب را از سفره جذب نمایند. علاوه بر موارد فوق، کشت آنها باید مورد پذیرش عموم مردم قرار گرفته و تاثیرات زیست محیطی آنها نیز ارزیابی شود. بهترین راه نگهداری و حفاظت از زهکشی زیستی استفاده از نیروهای محلی و مشارکت آنان در این امر می‌باشد.

کلمات کلیدی: اراضی فاریاب، زهکشی زیستی، سطح ایستابی، شوری، کشش تعرقی

۲- مقدمه

تمام گیاهان برای رشد خود نیاز به آب دارند. بارشهای طبیعی همیشه نمی‌توانند تمام نیاز آبی گیاه را تأمین نمایند، لذا هر جا که ممکن باشد باقیمانده نیاز آبی از طریق آبیاری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. توسعه کشاورزی در بسیاری از کشورها غالباً همراه با توسعه آبیاری بوده است. وسعت اراضی آبی جهان در فاصله سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۹۰ بیش از دو برابر افزایش یافته و به حدود ۲۴۰ میلیون هکتار رسیده است. این مقدار ۱۵/۴ درصد از اراضی قابل کشت جهان (۱۴۷۴ میلیون هکتار) را تشکیل داده که حدود یک سوم غذای جهان را تولید می‌کند و باید ۶۰ درصد غذای اضافی مورد نیاز جهان در آینده نیز از اراضی آبیاری تأمین گردد (فائو). بطور متوسط تولیدات کشاورزی از هر واحد زمین آبی ۲ برابر تولیدات در زمین دیم است.

آبیاری بدون شک در حفظ جمعیت دنیا، از نظر تأمین غذا، پوشاک، بیوانرژی و نیازهای صنعتی، نقش مهمی‌را بازی می‌کند، لیکن اثرات منفی آن بر روی منابع طبیعی نیز آشکار شده است که از جمله می‌توان شور و ماندابی شدن اراضی آبیاری را نام برد. در حال حاضر، حدود یک سوم اراضی فاریاب جهان را خطرات ماندابی تهدید می‌کند که سالانه ۲ تا ۴ میلیون هکتار از اراضی جهان در اثر شور یا ماندابی شدن، از چرخه تولید خارج می‌شود [۱].

در کشور ما نیز در سالهای گذشته سرمایه گذاری عظیمی‌برای توسعه آبیاری انجام گرفته است که اکنون نیز ادامه دارد. در حال حاضر سطح کل اراضی زیر شبکه‌های مدرن آبیاری ۱/۲ میلیون هکتار است که با اجرای طرحهای جدید به ۱/۹ میلیون هکتار خواهد رسید. بخشی از این اراضی به علت آبیاری بی رویه یا فقدان زهکشی، زهدار شده اند. شک نیست که در سالهای آتی نیز به علت تلفات بیش ار حد ناشی از پایین بودن راندمان آبیاری، همراه با استفاده از آبهای با کیفیت پایین، مشکلات جدید زهکشی در این اراضی بروز خواهد کرد [۲].

در بسیاری از نقاط دنیا راهکارهای مدیریتی برای حل مشکل زهکشی ارائه شده است، لیکن اغلب این راهکارها بر اساس روشهای مهندسی استوار است که از جمله می‌توان زهکشهای عمیق روباز، زهکشهای

عمودی (پمپاژ آب زیرزمینی) یا زهکشهای زیرزمینی را نام برد. این سیستمها اصولاً نیاز به نگهداری و بهره برداری داشته و سرمایه اولیه برای احداث چنین زهکشهایی بسیار زیاد است. علاوه بر این، زه آب خروجی از این زهکشها غالباً شور و گاهی نیز آلوده بوده و تخلیه آنها به آبهای سطحی (رودخانه، دریاچه، تالاب و امثالهم) مشکلات زیست محیطی را بدنبال دارد. بنابراین، روشهای دیگر برای کنترل سطح ایستابی که ترجیحاً کم هزینه و از نظر محیط زیست قابل قبول باشند نسبت به روشهای متداول ارجحیت دارند. در این مقاله سعی شده است تا روش زهکشی زیستی[1] معرفی و توصیف گردد و نکات فنی، مزایا و محدودیتهای آن مورد بررسی قرار گیرد.

۳- مبانی علمی‌زهکشی زیستی

در شرایط طبیعی، مؤلفه‌های یک سیستم هیدرولوژیکی از قبیل؛ بارندگی، تبخیر و تعرق، تغییرات ذخیره رطوبتی خاک و زه کشی با یکدیگر در تعادل هستند. بارندگی زیاد در برخی دوره‌ها ممکن است موقتاً باعث افزایش جریان زه کشی، خیز سطح ایستابی یا ذخیره رطوبتی خاک گردد، ولی نهایتاً پس از یک دوره ۱۰-۵ ساله تعادل برقرار می‌گردد.

گیاهان در مؤلفه‌های بیلان آبی (تبخیر-تعرق و ذخیره رطوبتی) نقش مهمی را بعهده دارند. وقتی که گیاهان زراعی یا درختان جایگزین پوششهای طبیعی در یک منطقه می‌شوند، بیلان آبی منطقه بهم خورده و میزان نشت به سفره آب زیر زمینی ممکن است بیشتر یا کمتر از میزان قبل گردد. البته توسعه کشاورزی آبی معمولاً افزایش نفوذ آب به سفره آب زیرزمینی را بدنبال دارد. برای مثال میزان نفوذ عمقی در مناطق نیمه خشک جنوب استرالیا قبل و بعد از تغییر کاربری اندازه گیری شد. میزان نفوذ قبل از تغییر کاربری که زمین با گونه‌های اکالیپتوس بومی‌پوشیده شده بود، کمتر از ۰/۱ میلی متر در سال و بعد از تغییر کاربری و کشت گیاهان زراعی به شدت تغییر کرده و بین ۵ تا ۳۰ میلی متر در سال افزایش یافت [۷].

نیروی محرکه در زه کشی زیستی مصرف آب توسط گیاهان می‌باشد. بنابراین کاشت گونه‌های درختی سریع الرشد نظیر اکالیپتوس در هنگام تغذیه (آبیاری یا بارندگی)، میزان نفوذ آب به سطح سفره را کاهش داده و در هنگام قطع آبیاری یا بارندگی، تخلیه و پایین رفتن سطح ایستابی را سبب می‌شود.

مطالعات اولیه در استرالیا نشان داد که میزان تعرق و برداشت آب زیر زمینی توسط درختانی که در اراضی با سطح ایستابی کم عمق (۸-۵ متر زیر سطح زمین) قرار دارند بسیار زیاد و ۳ تا ۶ برابر (1200-2300 mm/yr) بیشتر از تعرق سالانه گیاهان مرتعی (400 mm) است[۴].

موریس و همکاران در سال ۱۹۹۸، میزان برداشت آب ازسطح سفره کم عمق و شور توسط دو گونه اکالیپتوس (*camaldulensis, grandis*) را حدود ۳۰۰ میلی متر در سال گزارش کردند. آنها همچنین

1- Biodrainage

اظهار داشتند که توانایی درختان در تخلیه آب زیر زمینی در خاکهای با هدایت هیدرولیکی کم، با نزول سطح ایستابی کاهش می‌یابد.

مطالعاتی نیز روی گونه‌های مختلف اکالیپتوس از نظر میزان تعرق صورت گرفت که نشان داد نیاز آبی آنها تقریباً یکسان است [۵، ۱۰]

بیلان نمک نیز یکی از فاکتورهای اساسی است که در رشد و میزان آب مصرفی گیاه نقش دارد. نمکی که به منطقه ریشه منتقل می‌شود اگر آبشویی و یا توسط گیاه جذب و خارج نشود، گیاه را از بین خواهد برد. خصوصیات ریشه درختان در راندمان مصرف آب بسیار مؤثر است. گیاهان با ریشه عمیق تر ضمن اینکه دسترسی بیشتری به آب دارند، آب بیشتری را مصرف کرده و می‌توانند سطح سفره را تا چند متر پایین ببرند. همچنین در هنگام نفوذ آب آبیاری یا بارندگی به سفره زیر زمینی، وجود درختان با ریشه عمیق فرصت نفوذ آب به سفره را کاهش می‌دهند.

۴- زهکشی زیستی در اراضی دیم

مشکل اساسی با زه کشی زیستی در مناطق دیم یا مرطوب این است که نیاز آبی گیاهان در فصل زمستان یا فصل بارندگی معمولاً کم است. در نتیجه زهکشی در زمستان با تأخیر همراه است، بطوری که خاک در زمستان اشباع و در تابستان تخلیه می‌شود. زهکشی زیستی در اراضی دیم با توجه به اهداف مختلف زیر طراحی می‌گردد که توصیف هر یک در زیر آمده است.

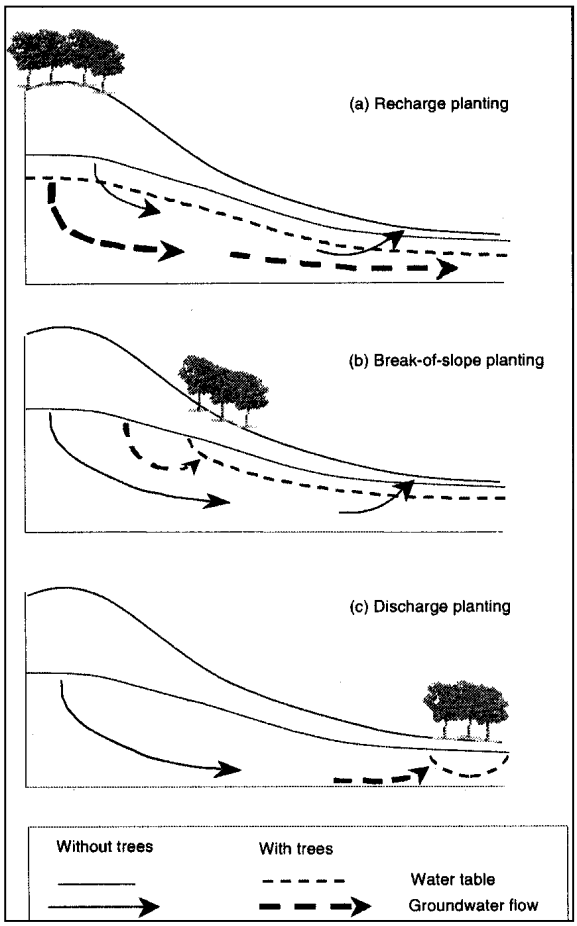
کنترل تغذیه:

در مناطق دیم و مرتفع معمولاً جریان آب ورودی به زیر منطقه ریشه در مناطق بالادست به سمت پایین حرکت کرده و به سفره آب زیرزمینی در اراضی پایین دست تخلیه می‌گردد. این مسئله سبب ماندابی و شور شدن اراضی پایین دست می‌شود. فرایندی که نفوذ عمقی بالادست را به منظور حل مشکل زهکشی در پائین دست کاهش دهد، کنترل تغذیه نامیده می‌شود.

در استرالیا پوشش گیاهی یا کاشت درختان در اراضی بالادست (سطوح تغذیه) مهمترین اقدام برای کنترل شوری بوده است. در چنین شرایطی کافی است فقط قسمت کوچکی از اراضی بالادست درختکاری شود تا هدف فوق تأمین شود (شکل a-۱). البته پوشش در اراضی بالادست اثرات منفی نیز دارد. اگر قدرت تبخیری گیاهان جدید خیلی زیاد باشد ممکن است باعث خشک شدن منطقه، کاهش جریان رودخانه و چشمه‌ها و خشک شدن چاهها بشود.

جلوگیری یا قطع جریان آب زیرزمینی:

شکل b-۱ زهکش زیستی را که مانند یک زهکش حائل عمل می‌کند برای جلوگیری از جریان آب زیر زمینی به طرف پایین دست نشان می‌دهد. در این شکل جریان آب نفوذیافته در لایه‌های نفوذ پذیر که بر روی لایه‌های کم نفوذ قرار دارند به طرف پائین حرکت می‌کند. با بهره برداری از این لایه‌ها توسط درختکاری در چند نقطه پایین شیب، جائیکه کیفیت آب نسبتاً خوب است، جریان آب زیرزمینی به پائین دست تقلیل یافته و مشکل زهکشی پائین دست تا اندازه ای کاهش می‌یابد. محل درختکاری در این سیستم بسیار مهم است که بستگی به وضع و ساختمان لایه‌ها، شیب بالادست، میزان تغذیه، کیفیت آب زیر زمینی و عمق سطح ایستابی دارد.



شکل ۱- کاشت درختان با اهداف مختلف در اراضی دیم

افزایش تخلیه

شکل c-۱محل درختکاری را در اراضی پست و ماندابی به منظور تخلیه بیشتر آب زیر زمینی از طریق تبخیرتعرق نشان می‌دهد. اراضی پست با سطح ایستابی کم عمق غالباً محل تخلیه آب زیر زمینی هستند. اگر این اراضی دارای خروجی باشند و زه آب آنها به رودخانه تخلیه شود تعادل نمک بر قرار است. لیکن اگر اراضی فاقد خروجی باشند و نفوذ آب زیر زمینی به اعماق پائین تر نیز وجود نداشته باشد، شور شدن اراضی اجتناب ناپذیر است. در چنین شرایطی، پایداری سیستم زهکش زیستی در دراز مدت مورد تردید است. هم اکنون، عقیده عمومی در استرالیا بر این است که زهکش زیستی در اراضی پست و ماندابی نهایتاً به شوری ختم می‌شود، مگر اینکه از سیستم‌های زهکشی متداول برای کنترل شوری استفاده گردد.

گیاهان هم از ناحیه غیر اشباع (بالای سطح ایستابی) و هم از ناحیه اشباع (زیر سطح ایستابی) آب را جذب می‌کنند. دسته دوم به نام گیاهان فری توفیت[1] معروف هستند. این گیاهان غالباً (نه همیشه) در آب و هوای خشک روئیده می‌شوند و آب را از سفره‌های عمیق زیرزمینی دریافت می‌کنند. تاماریکس[2] یکی از این

1- Phreatophyte
2- Tamarix

گیاهان است که کاشت آن در جنوب شرقی امریکا، سطح ایستابی را آنچنان پایین برد که باعث از بین رفتن گونه‌های دیگر با عمق ریشه کمتر شد.
از آنجا که اجرای عملیات مکانیکی در برخی اراضی پست و ماندابی امکان پذیر نمی‌باشد، زهکشی زیستی یا درختکاری به عنوان گزینه ای برتر جهت اصلاح و توسعه اراضی باتلاقی مطرح است. برای مثال در هلند برای خشک کردن اراضی ساحلی، با وجود چند سانتیمتر آب روی آنها، از نی استفاده می‌شود. این کار احیا و توسعه اراضی را تسریع می‌بخشد.

۵- زهکشی زیستی در اراضی آبی

در اراضی دیم با توپوگرافی ناهموار، سطوح تغذیه و تخلیه بسادگی مشخص می‌شوند. تغذیه در قسمت‌های مرتفع و تخلیه در قسمتهای پست اتفاق می‌افتد. در اراضی آبی با توپوگرافی هموار و سطح ایستابی کم عمق، تشخیص نقاط تغذیه و تخلیه کار ساده ای نیست. در این مناطق، اراضی آبی در هنگام آبیاری و نفوذ آب به خاک به عنوان سطوح تغذیه و در فاصله بین آبیاریها که تبخیر–تعرق اتفاق می‌افتد به عنوان سطوح تخلیه عمل می‌کنند. زهکشی زیستی در اراضی آبی با توجه به اهداف زیر طراحی می‌گردد که توصیف هر یک در زیر آمده است.

کنترل سطح ایستابی

سطح ایستابی کم عمق باعث تجمع نمک در ناحیه ریشه شده و خطری جدی برای گیاهان محسوب می‌شود. کنترل سطح ایستابی پایین تر از عمق بحرانی موفقیت پروژه‌های آبیاری را تضمین می‌نماید.
گیاهان می‌توانند آب خاک را (۱) مستقیماً از ناحیه اشباع زیر سطح ایستابی، (۲) از ناحیه خیز موئینه‌ای بالای سطح ایستابی یا (۳) از ناحیه غیر اشباع لایه‌های فوقانی خاک بعد از بارندگی یا آبیاری خارج نمایند. حالت ۱و۲ کنترل سطح ایستابی و حالت ۳ کنترل تغذیه را سبب می‌شود.

جلوگیری از نشت کانال

در اراضی آبی، نشت از کانال یکی از عوامل اساسی بالا آمدن سطح ایستابی و در نتیجه ماندابی و شور شدن اراضی مجاور کانال است. کشت گیاهان و درختکاری در مجاورت کانالها مانند یک زهکش حائل عمل کرده و از ورود نشت به اراضی مجاور جلوگیری می‌کند.

سیستمهای مرکب (زهکش متداول + زهکش زیستی)

در شرایطی که تجمع نمک در منطقه ریشه، رشد گیاهان زهکش زیستی را محدود می‌سازد، راه حلهای مهندسی برای پایداری سیستم ضروری است. در چنین شرایطی ترکیبی از سیستم‌های زهکشی متداول و زهکشی زیستی می‌تواند کارساز باشد.

۶- اصول طراحی

هدف زهکشی زیستی خروج آب اضافی زیرزمینی با استفاده از فرایند تبخیر-تعرق توسط گیاهان می‌باشد. برای دسترسی به این هدف کاشت گیاهان پر مصرف در سطوحی از مزرعه برای برقراری تعادل بین تغذیه و تخلیه و نگهداری سطح آب زیرزمینی در زیرمنطقه ریشه توصیه می‌گردد. در توسعه سیستم‌های زهکشی زیستی موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

الف- بیلان آب: گیاهان زهکشی زیستی باید قادر به جذب آب زیرزمینی به اندازه تغذیه باشند تا سطح ایستابی در زیر منطقه ریشه حفظ شود.

ب- سطح کشت: سطح کشت زهکش زیستی باید حتی الامکان کوچک باشد. زیرا هدف اولیه کشاورزی (بخصوص در اراضی آبی) تولید محصولات با ارزش است. لذا جایگزین کردن درختان کم ارزش بجای محصولات با ارزش مورد پذیرش کشاورزان نخواهد بود. غالباً در مناطقی که تأمین آب با کیفیت خوب مشکل است، زمین به اندازه کافی وجود دارد. برای مثال در مناطق خشک و نیمه خشک، زمینهای خشک فراوانی اطراف اراضی آبی وجود دارند که می‌توانند برای درختکاری در نظر گرفته شوند بدون اینکه اراضی مرغوب از حیز انتفاع خارج گردند.

ث- تحمل شوری: گیاهانی که به منظور زهکش استفاده می‌شوند باید از گیاهان مقاوم به شوری باشند. زیرا آب زیرزمینی معمولاً از آب آبیاری شورتر است و مصرف آب توسط درختان و گیاهان با افزایش شوری کاهش می‌یابد. میزان مصرف آب توسط گونه‌های اکالیپتوس در شرایط شوری (8 dS/m) به نصف تقلیل می‌یابد [۱۱].

د- نزول سطح ایستابی: گیاهان از جمله درختان مانند پمپ‌های بیولوژیکی عمل کرده و سطح ایستابی محل خود را پایین می‌برند که در نتیجه سطح ایستابی اراضی اطراف نیز پایین می‌رود. میزان پایین رفتن سطح ایستابی در محل استقرار گیاهان زیستی بستگی به مصرف آب گیاهان، میزان تغذیه آب در زمینهای اطراف، هدایت هیدرولیکی خاک و عمق لایه غیر قابل نفوذ دارد.

ه- آرایش کاشت: کاشت گیاهان زیستی باید در بلوکها یا نوارهایی با فواصل معین صورت گیرد تا سطح ایستابی در بین آنها و در اراضی آبی پایین تر از عمق ریشه گیاهان زراعی قرار گیرد. از آنجا که در کنار جاده‌ها و مرز اراضی امکان دسترسی و رسیدگی به درختان بیشتر است، این مکانها برای کشت درختان زهکشی زیستی توصیه می‌گردد. اگر امکان کشت نواری در منطقه‌ای فراهم نباشد، از روش کرتی استفاده می‌شود.

ل- بیلان نمک: توسعه پروژه‌های آبیاری بدون در نظر گرفتن زهکشی باعث شور شدن اراضی می‌شود. برای برقراری تعادل نمک بدون استفاده از زهکشهای متداول، گیاهان کشت شده اصلی باید قادر به جمع آوری نمک بوده و پس از برداشت از منطقه خارج شوند. و این در شرایطی قابل تحقق است که شوری آب آبیاری بسیار کم باشد.

ذ- جنبه‌های اقتصادی: مدیریت بهره برداری از درختان و گیاهان زهکشی زیستی متفاوت از گیاهان با ارزش کشاورزی می‌باشد. در آمد حاصل از گیاهان زهکش زیستی چندین سال دیرتر از سرمایه گذاری

اولیه (هزینه کاشت و نگهداری) بدست می‌آید. در نتیجه قراردادهای مربوطه باید بر اساس پرداخت‌های سالانه به گونه ای تنظیم شود تا مورد قبول مالک قرار گیرد.

ج- پذیرش اجتماعی: کاشت گیاهان جدید نظیر درختان، وضع اجتماعی روستا را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بازارهای جدید ممکن است بوجود آید، مراقبت‌های ایمنی درختان نسبت به گیاهان معمولی متفاوت است (هرس غیر قانونی یا قطع درختان برای هیزم) و آتش سوزی می‌تواند نتیجه کار چندین ساله را در یک روز از بین ببرد. برای حل مسائل و اثبات اینکه منافع سیستم زهکشی زیستی تا حداکثر ممکن بدست می‌آید، شرکت فعال جوامع محلی در توسعه و کاشت درختان زهکشی زیستی، بی نهایت مهم است.

۷- ملاحظات طراحی در زهکشی زیستی

الف- مقایسه روش‌های زهکشی:

قبل از انتخاب مناسب یک سیستم زهکشی، موارد زیادی می‌بایست رعایت شود. در جدول ۱ زهکشی زیستی با روش‌های متداول دیگر مقایسه شده و فاکتورهای مختلف برای انتخاب مناسب یک سیستم زهکشی خلاصه شده است.

جدول ۱- مقایسه روش‌های زهکشی

زهکشی زیستی	زهکشی قائم	زهکشی افقی	پارامتر
- موفقیت آمیز در بسیاری از مناطق - در حال حاضر در پروژه‌های بزرگ زهکشی استفاده نمی شود - به خروجی نیاز ندارد	- روش با کارآیی خوب - استفاده مجدد از زه آبها - حوضچه‌های تبخیری نتایج متفاوت نشان داده است - تبخیرکننده‌های خورشیدی ممکن است قسمتی از سیستم زهکشی باشند.	- روش با کارآیی خوب - نیاز به خروجی - حوضچه‌های تبخیری نتایج متفاوت نشان داده است - تبخیرکننده‌های خورشیدی ممکن است قسمتی از سیستم زهکشی باشند.	عملکرد و متعلقات
کم	متوسط	متوسط	هزینه
اصلاح اراضی ماندابی کنترل سطح ایستابی بادشکن تولید چوب و محصولات جنگلی تنوع گیاهی استفاده زمین محدودیت در کنترل شوری	اصلاح اراضی ماندابی کنترل سطح ایستابی کنترل شوری در صورت تخلیه زه آبها	اصلاح اراضی ماندابی کنترل سطح ایستابی کنترل شوری در صورت وجود خروجی	مزایا/معایب
هرس و برداشت محصول کنترل بیماری	سرویس مقطعی از خطوط لوله، پمپ و صافی نیاز به برق یا سوخت	سرویس لوله‌ها یا زهکشهای رو باز به طور مقطعی حذف نمک از حوضچه‌های تبخیری	بهره برداری و نگهداری
سطح نسبتاً بزرگی نیاز است (حدود ۱۰٪ اراضی آبی)	- مقدار کمی‌نیاز دارد	زهکشی زیر زمینی نیاز به زمین ندارد زهکشهای روباز و حوضچه‌های تبخیری زمین نیاز دارند	زمین مورد نیاز
در زمان استقرار گیاهان نیاز دارد	نیاز ندارد	نیاز ندارد	آب مورد نیاز با کیفیت خوب
-	برای پمپاژ آب زیر زمینی	در شرایطی که نیاز به پمپاژ زه آبها می‌باشد	انرژی مورد نیاز
اثرات منفی زیست محیطی ندارد برای کنترل نمک سیستم تخلیه مورد نیاز است	کیفیت آب پمپاژ شده ممکن است باعث آلودگی آب نهر یا کانال بشود	زه آبها معمولاً حاوی نمک، مواد شیمیایی و عناصر غذایی هستند	اثرات زیست محیطی

ب- مصرف آب درختان:

درختان معمولاً آب بیشتری نسبت به گیاهان زراعی و کوتاه مصرف می‌کنند. و این به سه دلیل است:

۱- ناهمواری زیاد درختان که از نظر آیرودینامیکی میزان تبخیر را افزایش می‌دهد و مقدار آن در سال تا ۲ برابر تبخیر از چمن می‌تواند باشد.
۲- اثر واحه ای که برای درختان غالب است.
۳- ریشه عمیق درختان و دسترسی به آب زیرزمینی با کیفیت خوب که باعث افزایش تعرق سالانه می‌شود. درختان بیش از ۱/۵ برابر گیاهان زراعی و بیش از ۱/۲۵ برابر تشتک کلاس A، آب مصرف می‌کنند.

ج- نزول سطح ایستابی توسط گیاهان:

در محل درختکاری زمانیکه میزان تخلیه (تبخیر و تعرق، رواناب سطحی و خروج آب زیرزمینی) بیشتر از تغذیه (نفوذ و آب زیرزمینی) باشد، سطح ایستابی پائین می‌رود. و زمانیکه برابر باشند ثابت می‌ماند. نزول سطح ایستابی در زیر درختان باعث جریان آب زیر زمینی از اطراف به محل درختکاری می‌شود که در نتیجه باعث کنترل سطح ایستابی در اراضی منطقه می‌شود. اگر کاشت درختان به صورت نوارهای موازی انجام شود، پروفیل سطح ایستابی مطابق شکل ۲ مشابه پروفیل بین دو زهکش روباز خواهد بود که در این صورت می‌توان رابطه هوخهات را به صورت زیر بکار برد:

$$L^2 = 8ky_oh/R + 4kh^2/R$$

که: L = فاصله بین نوارهای درختکاری شده (m)

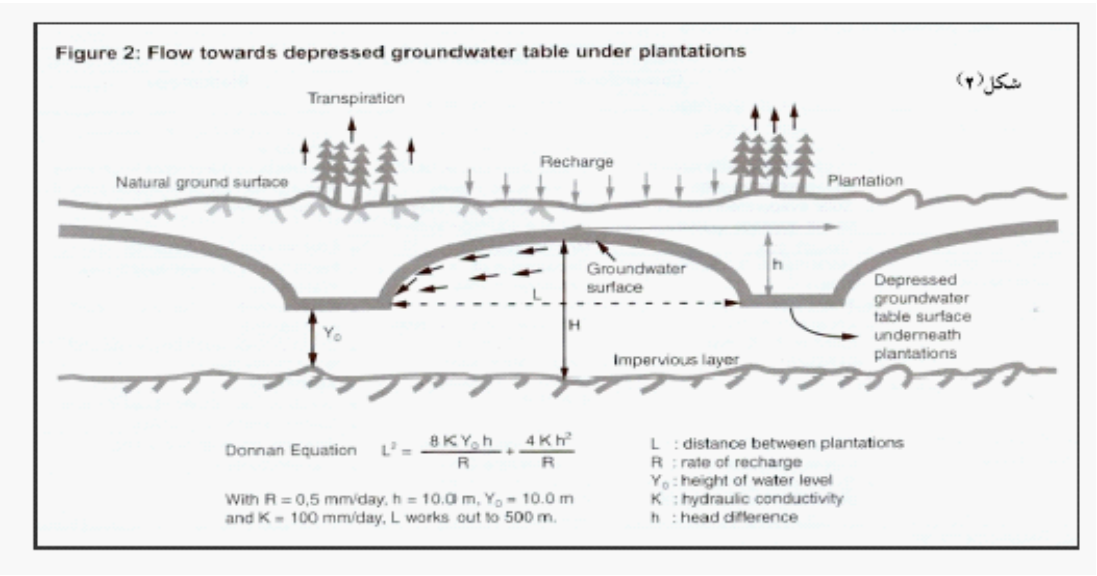
R = میزان تغذیه (m/day)

y_o = ارتفاع سطح ایستابی بالای لایه محدود کننده در محل درختکاری (m)

k = هدایت هیدرولیکی خاک (m/day)

h = اختلاف ارتفاع سطح ایستابی در محل درختکاری و نقطه میانی دو زهکش است (m)

بعنوان مثال، برای $R = 0.5$ mm/day، $y_o = 10$ m و $h = 10$ m ، فاصله بین ردیفهای کاشت به ازای سه مقدار k، ۱، ۰/۱ و ۰/۰۱ متر در روز به ترتیب ۱۵۰۰، ۵۰۰ و ۱۵۰ متر خواهد بود. خاکهایی با ضریب هدایت هیدرولیکی کم فاصله کمتری برای کاشت نیاز دارند. لیکن، از آنجا که میزان تغذیه درخاکهای نفوذپذیر بیشتر است، سطح بیشتری برای درختکاری نیاز است تا تعادل در بیلان آبی بر قرار گردد. برای تعیین سطح درختکاری و فاصله بین نوارهای کاشت در هر منطقه به داده‌های مزرعه ای نیاز است.



شکل ۲- جریان به طرف سطح ایستابی افتان در زیر درختان

د- تراکم و عمق ریشه:

نزول سطح ایستابی (در زیر ریشه درختان) و شعاع تأثیر آن بر اراضی اطراف بستگی به وسعت افقی و عمودی سیستم ریشه دارد. سیستم‌های ریشه برای دسترسی به آب و غذا توانائی فوق العاده ای برای گسترش دارند. بنابراین انتخاب گونه‌های مناسب با کارائی بالا در طراحی سیستم زهکشی زیستی بسیار مهم است

زُهر[1] طول ریشه اکالیپتوس را تا فاصله ۲۰ متری از تنه درخت اندازه گیری نمود[۱۵]. کولس نیکُو[2] در اوکراین طول ریشه درختان سیب ۴۵ ساله را ۲/۷ کیلومتر اندازه گیری کرد که ۱/۶ کیلومتر آن مربوط به ریشه‌های عمودی و ۱/۱ کیلومتر آن مربوط به ریشه‌های افقی بود [۸].

در پروژه نهر گاندی در راجستان هند، کاشت درختان اکالیپتوس در اراضی ماندابی کنار نهر آبیاری باعث پایین رفتن سطح آب زیر زمینی به اندازه ۱۵ متر در یک دوره ۷-۶ ساله شد. حفاریهای انجام شده تا عمق ۱۰ متری در ناحیه درختکاری، توسعه ریشه درختان اکالیپتوس را حداقل تا عمق ۱۰ متری نشان داد[۳].

1- Zohar
2- kolesnikov

۸- بیلان نمک

هیچ سیستم بیولوژیکی بدون تعادل در بیلان نمک پایدار نخواهد بود. بیلان نمک یکی از موضوعات بسیار مهم است که قبل از اینکه زهکشی زیستی به عنوان یک تکنیک مدیریتی مناسب مطرح شود باید مورد بررسی قرار گیرد.

در سیستم‌های گیاهی دو مکانیسم برای تعادل نمک می‌توان در نظر گرفت: (۱) تعادل نمک در منطقه ریشه از طریق شستشو (۲) جذب نمک توسط گیاهان و حذف آنها توسط دام یا برداشت ماده گیاهی.

جذب نمک بوسیله گیاه در مقایسه با کل نمکی که از طریق آب آبیاری وارد محیط ریشه می‌شود بسیار ناچیز است. مطالعات بیشماری نشان داده است که ریشه‌های درختان در هنگام جذب آب، اکثر املاح محلول را در خاک باقی می‌گذارند [۳، ۶]. مطالعات دیگر نشان داده است که فقط ۱/۵- ۰/۵ درصد از کل املاح وارده توسط گیاه از محیط خاک خارج می‌شود [۹، ۱۲].

گیاهان‌هالوفیت که برای رسیدن به رشد حداکثر مقداری نمک را جذب می کنند، با نگاه اول به نظر می‌رسند که انتخاب بسیار خوبی برای برقراری تعادل نمک باشند، لیکن نتایج تحقیقات این را تأیید نمی‌کند. برداشت ۱۵۰۰ کیلوگرم ماده خشک گیاهان‌هالوفیت در هکتار در صورت خارج شدن از زمین فقط ۱۵۰ گیلوگرم نمک در هکتار را از زمین خارج می‌سازد. اگر شوری آب ابیاری ۵۰۰۰ میلیگرم در لیتر و نیاز آبی گیاهان‌هالوفیت ۵۰۰۰۰۰۰ لیتر در سال فرض شود، ۲۵ تن نمک به خاک اضافه شده و تنها ۱۵۰ کیلوگرم آن یعنی حدود ۰/۶ درصد خارج می‌شود [۱۲]

تعادل نمک در محیط‌های شور با کاشت درختان اکالیپتوس بهتر از گیاهان‌هالوفیت نخواهد بود. لامبرت (۱۹۸۱) میزان حذف نمک از خاک را توسط اکالیپتوس ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد نمود که معادل ۱/۳ درصد نمک وارد شده به خاک از طریق آب آبیاری است [۹].

بنابراین توانایی گیاهان برای خروج نمک از منطقه ریشه امیدوارکننده نمی‌باشد و باید از تکنیک‌های دیگر مثل شستشوی نمک استفاده کرد. اگر چه پتانسیل گیاهان جهت خروج املاح از خاکهای بسیار شور خیلی رضایت بخش نیست، لیکن در شرایطی که شوری آب آبیاری بسیار کم است (مانند نشت از کانال) می‌توان از گیاهان در تعادل نمک بهره برد. البته این مسئله نیاز به تحقیق دارد.

۹- گونه‌های گیاهی مناسب در زهکشی زیستی

انتخاب گونه‌ها در زهکشی زیستی بستگی به شرایط محیطی دارد. برای مثال گونه‌های مقاوم به شوری برای شرایط شور و گونه‌های پرمصرف آب برای کنترل آبهای نفوذ یافته با شوری کم و نشت از کانال موثر می‌باشند.

اطلاعات در مورد مقاومت درختان و گونه‌های علفی به شوری، بسیار اندک می‌باشد. جدول ۲ مقاومت گونه‌های مختلف را به شوری که توسط موسسه هسته ای پاکستان ارائه شده نشان می دهد. جدول ۳ نیز

مقاومت به شوری برخی گونه‌های درختی را که توسط موسسه مرکزی تحقیقات شوری خاک در کارنال هند ارائه شده نشان می‌دهد [۱۳].

جدول ۲- مقاومت گونه‌های مختلف به شوری ارائه شده توسط موسسه هسته ای پاکستان

Species/Varieties	Rootzone salinity (EC_e) associated with 50% green matter yield reduction (dS/m)
Atriplex ammenicola	33.0
Acacia cambagei	27.7
Atriplex lentiformis	23.0
Atriplex undulata	22.5
Leptochloa fusca (Kallar grass)	22.0
Brassica napus (Gobhi sarson)	19.5
Beta vulgaris (fodder beet)	19.0
Hordeum vulgare (barley)	
PK – 30064	19.0
PK – 30130	18.4
PK – 30136	17.9
Sorghum vulgare (JS-263)	16.7
Sorghum vulgare (JS-1)	16.5
Acacia calcicola	16.5
Sorghum vulgare (Japani millet)	15.0
Sesbania aculeata (dhancha)	13.0
Hasawi rushed	12.5
Leucaena leucocephala (Ipil-Ipil)	12.4
Medicago sativa (Lucerne hijazi)	12.2
Macroptilium atropurpureum (siratro)	12.0
Lolium multiflorum (Italian rye grass)	11.0
Echinochloa colona (Swank)	11.2
Acacia kempeana	11.0
Acacia aneura	9.5
Acacia cunninghamii	9.4
Acacia holosericea	9.0
Panicum maximum (N-S-1)	9.0
Panicum maximum (exotic)	8.5

Source: Ahmed (1988)

جدول ۳- گونه‌های درختی مناسب برای خاکهای شور ارائه شده توسط موسسه مرکزی تحقیقات شوری خاک در کارنال هند

Tolerant (EC_e 25-35 dS/m)*	*Tamarise troupii, T. artiaulata, Prosopis juliflora, Pithe cellobium dulce, Parkinsonia aculeata, Acacia farnesiana*
Moderately tolerant (EC_e 15-25 dS/m)	*Callistemon lanceolatus, Acacia nilotica, A. pennatula, A. tortilis, Casuarina glauca 13144, C. glauca 13987, C. obessa 27, C. glauca (FRI), C. equisetifolia (FRI), Eucalyptus camaldulensis, Leucaena leucocephala, Erescentia alata*
Moderately sensitive (EC_e 10-15 dS/m)	*Casuarina cunninghamiana (FRI), C. cunninghamiana (Aust.), Eucalyptus tereticornis, Acacia auriculiformis, Guazuma ulmifolia, Leucanea shannonii, Samanea saman, Albizzia caribea, Senna atomeria, Ferminalia arjuna, Pongamia pinnata*
Sensitive (EC_e 7-10 dS/m)	*Syzgium cumimi, S. fruticosum, Tamarindus indica, Salix app., Acacia deanei, Albizia quachepela, Alelia herbertsmithi, Ceaselpimia eriostachya, C. velutina, Halmatoxylon brasiletto*

* EC_e is the average rootzone salinity as measured in a saturation extract

جدول ۴- مقاومت نسبی گونه‌های درختی به قلیائیت

Average soil pH in 1:2 soil water suspension	Fuelwood/timber tree species	Fruit tree species
>10.0	*Prosopis juliflora* *Acacia nilotica* *Casuarina equisetifolia*	*Acchras japota*
9.0-10.0	*Tamarix articulata* *Terminalia arjuna* *Albizzia lebbeck* *Pongamia pinnata* *Sesbania sesban* *Eucalyptus tereticornis*	*Zizyphus mauritiana* *Sapindus laurifolius* *Emblica officinalis* *Carissa carandas* *Psidium guajava* *Phoenix dactylifera* *Aegle marmelos*
8.2-9.0	*Dalbergia sissoo* *Morus alba* *Grevillea robusta* *Azadirachta indica* *Tectona grandis* *Populus deltoides*	*Punica granatum* *Pyrus persica* *Pyrus communis* *Vitis vinifera* *mangifera indica* *Syzygium cumini*

۱۰- بهبود خاکهای قلیایی توسط درختان:

خاکهای قلیایی دارای pH بالا (۸/۲-۱۰/۵) و درصد سدیم قابل تبادل بالا (ESP>۱۵) می‌باشند. pH و ESP بالا به علت وجود کربنات و بی کربنات سدیم در این خاکها می‌باشد. تحمل گیاهان به قلیائیت تابع عوامل زیر است؛ نسبت Na/k قسمت هوایی گیاه (شاخ وبرگ) و ظرفیت جذب k در رقابت شدید با سدیم، جذب انتخابی یا نگهداری کاتیونها (مخصوصاً سدیم در شاخ وبرگ، ریشه‌ها و قسمت هوایی)، توانایی دفع سدیم توسط برگها، تحمل گیاه به کمبود اکسیژن در منطقه ریشه و تنش‌های غذایی. جدول ۴ تحمل برخی گونه‌های درختی به قلیائیت را نشان می‌دهد.

برای استقرار گیاهان در خاکهای قلیا نیاز است تا نهالهایی به قطر ۲۵-۱۵ سانتیمتر در چاله‌هایی به عمق ۱/۸-۱/۲ متر، که با خاک مناسب یا خاک قلیا به همراه ۳-۲ کیلوگرم گچ و ۸-۶ کیلوگرم کودآلی پر شده، کاشته شوند. استفاده از گچ برای استقرار مطلوب درختان و رشد سریع آنها یک ضرورت می‌باشد. اصلاح بیولوژیکی خاکهای قلیایی و بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آنها توسط درختان در بسیاری از گزارشات ارائه شده است [۱۴]

۱۱- نتیجه گیری و پیشنهادها

۱- زهکشی زیستی در حل مشکلات ماندابی در اراضی دیم و آبی بسیار مؤثر می باشد و در مناطقی که سطح ایستابی بالا بوده و شدت تبخیر نیز زیاد است عملکرد خوبی خواهد داشت.

۲- توانایی گیاهان برای خروج نمک از منطقه ریشه خیلی رضایت بخش نیست، لیکن در به تأخیر انداختن انتقال نمک به منطقه ریشه یا در شرایطی که شوری آب آبیاری بسیار کم است مؤثر می‌باشند.

۳- زمین لازم برای احداث زهکشی زیستی در مناطق تحت آبیاری کمتر از ۱۰ درصد است که در مقایسه با افت زمین در روشهای دیگر زهکشی تفاوت چندانی ندارد.

۴- در شرایطی که تجمع نمک در منطقه ریشه رشد درختان را محدود می‌سازد، راه حلهای مهندسی برای پایداری سیستم ضروری است. در چنین شرایطی ترکیبی از سیستم‌های زهکشی متداول و زهکشی زیستی می‌تواند کارساز باشد.

۵- گیاهانی که به منظور زهکش استفاده می‌شوند باید از گیاهان مقاوم به شوری و قادر به جذب آب زیرزمینی به اندازه تغذیه باشند تا سطح ایستابی در زیر منطقه ریشه حفظ شود.

۶- از آنجا که در کنار جاده‌ها و مرز اراضی امکان رسیدگی به درختان بیشتر فراهم است، این مکانها برای کشت درختان زهکشی زیستی توصیه می‌گردد.

۷- برای استقرار درختان در خاکهای قلیا توصیه می شود تا نهالها در چاله‌هایی به عمق ۱/۸-۱/۲ متر، که با خاک مناسب یا خاک قلیا به همراه گچ و کودآلی پر شده، کاشته شوند.

۱۲- پیشنهاد برای تحقیقات در ایران

۱- انجام چند طرح پایلوت در مناطق مختلف ایران از نظر شرایط اقلیمی

۲- تعیین شدت تعرق و آب مصرفی انواع مختلف درختان بومی در شرایط استفاده از آب زیرزمینی با شوری و عمق متفاوت

۳- تعیین رابطه بین مقدار عناصر جذب شده توسط گیاهان و درختان و عناصر موجود در آب و خاک محل کاشت

۴- تعیین نزول سطح آب زیرزمینی در محل کاشت درختان و بررسی حرکت آب زیرزمینی به طرف آن و تعیین پروفیل سطح ایستابی

مراجع:

۱- گروه کار زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۱. نگرشی بر مسائل و مشکلات مطالعات و اجرای زهکشی ریرزمینی در ایران. انتشارات کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۷۹ صفحه.

۲- اکرم، مجتبی، ۱۳۸۰. نگرش‌های جدید در طراحی زهکشی. ارائه شده در دومین کارگاه فنی زهکشی کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳۸۰.

3- Chhabra, R., & N.P. Thakur. 1998. Biodrainage using tree to control water logging and secondary Stalinization in canal irrigated areas. *Proceeding natural Conference on salinity management in agriculture.* Central soil salinity research Institute, Karnal, India.

4- Greenwood, E.A.N., L. Klein, J.D. Beresford & G.D. Watson. 1985. Differences in annual evaporation between grazed pasture and *Eucalyptus* species in plantations on a saline farm catchment. Journal *Hydrologist*, 78: 261-278.

5- Hatton, P., P. Reece, P. Taylor & K. McEwan. 1998. Does leaf water efficiency vary among eucalyptus in water-limited environment? *Tree Physiology*, 18:529-536.

6- Heuperman, A.F. 2000. Biodrainage: an Australian overview and two Victorian case studies. Proceedings 8th ICID International Drainage Workshop, New Delhi, India.

7- Heuperman, A.F.; A.S. Kapoor & H.W. Denecke, 2002. Biodrainage. International program for technology and research in irrigation and drainage, FAO.

8- Kolesnikov, V. 1966. Fruit Biology. Mir publishers Moscow.

9- Lambert, M.J., 1981. Inorganic constituents in wood and bark of New South Wales forest tree species. Forestry Commission of New South Wales, Sydney, Australia.

10- Myers, B.J., S. Theiveyanathan, N.D. O'Brien & W.J. Bond. 1996. Growth and water use of *Eucalyptus grandis* and *pinus radiata* plantations irrigated with effluent. *Tree physiology*, 16 :211-219.

11- Oster, J.D., S.R. Kaffka, M.C. Shannon & S.R. Grattan. 1999. Saline-sodic drainage water: a resource for forage production. *Transaction Seventeenth International Congress on Irrigation and Drainage*. 11-19 Sept. 1999. Granda, Spain.

12- Schulz, M. 1994. Development of sustainable systems using irrigated salt tolerance plants for productive vegetation of saline land. Institute of Sustainable Irrigated Agriculture, Dept. of Agriculture, Tatura, Victoria, Australia.

13- Tomar & Gupta. 1999. Technology options for aforestation of salt affected soils of different regions. *In* Advances in afforestation and eco-development, published by the Agricultural Finance Corporation, Mumbai, India.

14- Tyagi, N.R. 1999. Management of salt affected soils, workshop on exchange of information with Aral Sea Basin States at CSSRI-Karnal workshop.

15- Zohar, Y. 1985. Root distribution of a eucalypt shelter belt. *Forest Ecology Management*, 12: 305-307.