

زهکشی و محیط زیست آبی

مجتبی اکرم

کارشناس آزاد و عضو کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

mojtabaakram@gmail.com

چکیده

در ایران، نزدیک ۵۶۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی به سامانه زهکشی زیرزمینی مجهز هستند که نزدیک به ۳۲۰ هزار هکتار آن در استان خوزستان واقع شده است. با افزایش آگاهی نسبت به اهمیت پایداری محیط زیست، مطالعات زهکشی به سوی کاهش تخریب و ارتقای کیفیت زیست محیطی سوق یافته‌اند. دفع نمک، باقی‌مانده کودها و سموم علف‌کش و آفت‌کش‌ها از جمله محورهای اصلی این مطالعات به شمار می‌رود. افزون بر استفاده مجدد از زهاب، فناوری‌های "کنار مزرعه" مانند راکتورهای زیستی، بافرهای گیاهی و بافرهای اشباع نیز برای بهبود کیفیت زهاب به کار گرفته می‌شوند. شور شدن منابع آب و خاک، یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی مرتبط با کشاورزی در کشور است. در این مطالعه، رودخانه کارون به عنوان یکی از بزرگ‌ترین منابع پذیرنده زهاب مورد بررسی قرار گرفته و چندین روش برای کاهش آلاینده‌ها معرفی شده است. همچنین راهکارهایی برای کاهش مخاطرات زیست محیطی ناشی از نیتروژن و فسفر، که از آلاینده‌ترین نهاده‌های کشاورزی محسوب می‌شوند، ارائه گردیده است.

واژگان کلیدی: زهکشی، شوری آب و خاک، فسفر، محیط زیست، نیتروژن

مقدمه

زهکشی زیرزمینی مدرن در ایران پیشینه‌ای نزدیک به شصت سال دارد و تاکنون بیش از ۵۶۰ هزار هکتار از اراضی کشاورزی زهکشی شده‌اند؛ استان خوزستان با ۳۲۶ هزار هکتار در صدر قرار دارد. با افزایش توجه به پایداری محیط زیست، مطالعات زهکشی از تمرکز صرف بر هیدرولیک جریان به بررسی اثرات زیست محیطی مانند دفع نمک، باقی‌مانده کودها، سموم، فلزات سنگین و عوامل بیماری‌زا تغییر جهت داده‌است. عملکرد گذشته در خشکاندن تالاب‌ها مورد نقد قرار گرفته و در برخی کشورها تلاش‌هایی برای بازگرداندن شرایط طبیعی آب و خاک آغاز شده است.

در آمریکا و اروپا، بسیاری از اراضی زهکشی شده به سامانه‌های زهکشی کنترل شده مجهز شده‌اند که ضمن کاهش انتقال آلاینده‌ها، مصرف آب را نیز کاهش می‌دهند. استفاده چندباره از زهاب نیز به عنوان راهکاری مؤثر در کاهش مصرف آب و آلودگی، علاوه بر اروپا و آمریکا، در کشورهای مانند مصر و هند با موفقیت آزموده شده است. فناوری‌های کنار مزرعه مانند راکتورهای زیستی، بافرهای گیاهی و اشباع نیز در بهبود کیفیت زهاب نقش دارند و کاربرد آنها در حال فزونی است. دستاوردهایی نیز برای کاهش خطرات فسفر مانند تالاب‌ها، فناوری‌های گیاه پالایی، استفاده از سرباره فولاد، بقایای تصفیه آب آشامیدنی، گچ و نیز خروجی گازهای برخی صنایع ارائه شده‌اند.

افزایش آلودگی در پایین دست رودخانه‌ها، به ویژه کاهش حیات آبیان، زنگ خطری برای منابع پذیرنده زهاب است. از این روست که پایانه‌های بیشتر رودخانه‌های کشور، دیگر اثر چندانی از زندگی ندارند.

کیفیت منابع آب ایران

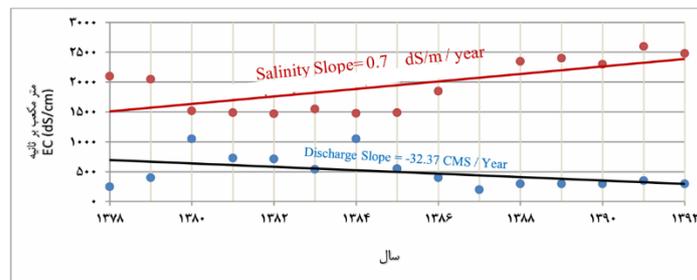
آب‌های سطحی

کیفیت آب‌های سطحی، به ویژه در بخش‌های میانی و پایانی رودخانه‌ها، مطلوب نیست. تخلیه پساب‌های تصفیه نشده شهری و صنعتی، زهاب کشاورزی، پساب مزارع پرورش آبزیان و دفع کنترل نشده زباله‌های جامد، موجب افت شدید کیفیت آب در بسیاری از رودخانه‌ها شده‌اند. رودخانه کارون به عنوان نمونه‌ای شاخص بررسی شده است.

کارون، بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه ایران، از زردکوه سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از شهرهای اهواز، شوشتر، دزفول و خرمشهر به خلیج فارس می‌ریزد. این رودخانه منبع اصلی آب آشامیدنی اهواز است، اما در دهه‌های اخیر با بحران زیست محیطی

روبرو شده است. کاهش آورد آب و ورود زهاب‌های کشاورزی، فاضلاب شهری و صنعتی، موجب افزایش شوری و آلودگی آن شده‌اند. بار نمک سالانه حوضه کارون نزدیک ۸ میلیون تن است که بخشی از آن وارد تالاب شادگان می‌شود. شوری آب کارون در اهواز طی ۲۰ سال گذشته نزدیک ۶۵٪ افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ به ۴ دسی‌زیمنس بر متر برسد (Humboldt University of Berlin, ۲۰۱۸). منابع اصلی آلودگی شامل پساب کشاورزی، مزارع پرورش ماهی، صنایع نفت و کاغذ، و خروجی سد گتوند هستند.

میانگین کاهش سالانه دبی در ایستگاه اهواز نزدیک ۳۲ مترمکعب بر ثانیه و افزایش سالانه شوری ۰٫۰۷ دسی‌زیمنس بر متر گزارش شده است (شکل ۱، اکرم، ۱۴۰۱).



شکل ۱: روند تغییرات دبی و هدایت الکتریکی رود کارون در ایستگاه اهواز

نگاهی به میانگین هدایت الکتریکی آب در سال ۱۳۹۳ گویای وضعیت شوری آب از سرچشمه تا پایانه رودخانه کارون بر حسب دسی‌زیمنس بر متر است.

جدول ۱: روند تغییرات میانگین هدایت الکتریکی آب کارون در سال ۱۳۹۳

۰/۵۰	۱/۳۰	۱/۴۳	۱/۹۷	۱/۹۳	۲/۰۳	۲/۱۸	۲/۶۲	۲/۹۰	۲/۹۲	۳/۳۲
→										
عباسپور	گتوند	شوشتر	ملائانی	ویس	اهواز	سلمان	دارخوین	خرمشهر	آبادان	اروند

با افزایش شوری آب‌های کشور، استفاده از منابع لب‌شور و شور رایج شده است. حجم این منابع با TDS بالاتر از ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، نزدیک ۱۲٫۸۸ میلیارد مترمکعب برآورد شده که معادل ۱۲٪ از پتانسیل منابع تجدیدپذیر کشور است (اکرم، ۱۴۰۱).

شورتر شدن دشت‌ها

بیشتر دشت‌های کشور با روند افزایشی شوری آب و خاک مواجه‌اند. در مناطق کم‌بارش، چرخه تشدید شوری بین آب و خاک موجب گسترش تدریجی شوری می‌شود، مگر آنکه از منابع آبی خارج از دشت استفاده شود، یا تغذیه طبیعی کافی وجود داشته باشد. طبق آمار وزارت نیرو، سه‌چهارم از ۵۲ دشت مورد بررسی با افزایش شوری روبه‌رو هستند (سالنامه آماری آب ۹۴-۱۳۹۳، وزارت نیرو، ۱۳۹۵).

اصلاح خاک‌های شورزده

خاک‌های شورزده^۱ به خاک‌های شور، سدیمی و یا شور سدیمی گفته می‌شود. با توجه به روند فزاینده شوری در منابع آب و خاک کشور، راهکارهایی در دو سطح مزرعه و حوضه آبریز برای کاهش این مشکل پیشنهاد شده‌اند.

❖ استفاده مجدد از زهاب

¹ Salt affected soils

کاربرد زهاب و آب‌های شور برای آبیاری گیاهان مقاوم به شوری مانند جو، چغندر قند و پنبه، در صورتی که هدایت الکتریکی خاک اشباع کمتر از ۸ دسی‌زیمنس بر متر باشد، امکان‌پذیر است (Homaee, and Pazira, ۲۰۰۳). یافته‌های شریفی‌پور و همکاران (۱۳۹۹) نشان می‌دهد:

- استفاده مجدد از زهاب در اصلاح خاک‌های شور و سدیمی مؤثر است.
- کاربرد تناوبی زهاب نسبت به اختلاط کامل، کارایی بیشتری دارد.
- آبیاری در نوبت‌های بیشتر با عمق کمتر، راندمان بالاتری دارد.
- زهاب می‌تواند شوری و سدیمی بودن خاک سطحی را کاهش دهد و نیاز به مواد اصلاح‌کننده را کم کند.

❖ مدیریت شوری با تغییر الگوی کشت

در مناطق شور مانند کرمان، خوزستان و خراسان، استفاده از گیاهان شورپسند نظیر گز، آتریپلکس، تاغ و شاه‌گز در کاهش شوری خاک مؤثر است (Djavanshir et al., ۱۹۹۶). این گیاهان در جاهای مختلف و به‌ویژه به‌عنوان علوفه دام کاربرد دارند.

❖ شوری‌زدایی با سیلاب‌های فصلی

آبیاری با سیلاب‌های طبیعی در مناطق کویری مانند کالشور سبزوار موجب شست‌وشوی گچ و بهبود خاک شده است (سبزوار و خسروشاهی، ۱۳۸۹). در طرح بارآباد سبزوار، هدایت سیلاب‌های شور به مراتب آتریپلکس باعث افزایش عملکرد علوفه و توسعه بیش از ۳۰۰۰ هکتار مرتع طی ده سال شد (هاشمی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۷). تجربیات مشابهی در آفریقا، آمریکا، چین و اسپانیا نیز گزارش شده‌اند.

❖ شورورزی با زهاب شور

شورورزی به معنای تولید اقتصادی در اراضی شور با آب شور است. در پایانه حوضه کرخه، با هدایت الکتریکی زهاب تا ۲۵ دسی‌زیمنس بر متر، پرورش گیاهان هالوفیت در مزرعه آزمایشی موفق بوده است. شکل ۲ مدل مفهومی کاهش عملکرد نسبت به شوری را نشان می‌دهد. در این شکل بیشترین عملکرد گیاه در شوری نزدیک ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر مشاهده شده است.

❖ سایر راهکارهای کاهش شوری خاک

- کاهش مصرف آب
- آبیاری با حجم مناسب برای دفع نمک‌ها
- استفاده از مواد اصلاح‌کننده مانند گچ برای جایگزینی سدیم با کلسیم
- افزایش مواد آلی خاک با کود دامی یا کمپوست
- کشت گیاهان مقاوم به شوری
- مدیریت دقیق آبیاری برای جلوگیری از تجمع نمک
- استفاده از آبیاری قطره‌ای یا بارانی
- تناوب زراعی گیاهان شورپسند و غیرشورپسند
- کاهش تبخیر سطحی با مالچ یا پوشش گیاهی
- مدیریت کوددهی و پرهیز از کاربرد کودهای شور
- پایش منظم شوری با هدایت‌سنج
- آبیاری اولیه خاک‌های شور

اصلاح خاک های شور زده

از آنچه گفته شد، می توان چنین نتیجه گرفت که بیشتر آب های سطحی و خاک های کشور بیش از پیش با خطر شوری روبرو هستند. برای کاستن از شدت این مشکل بزرگ، راه هایی در دو سطح مزرعه و حوضه آبریز توصیه شده است.

راهکارهای کاهش شوری در سطح مزرعه

❖ استفاده دوباره از زهاب

کاربرد زهاب و آب های شور به کیفیت آب بستگی دارد. برای آبیاری گیاهان مقاوم به شوری مانند جو، چغندر قند و پنبه می توان از آب با هدایت الکتریکی کمتر از ۸ دسی زیمنس بر متر استفاده کرد (Homaei, and Pazira, ۲۰۰۳). بر اساس مطالعه شریفی پور و همکاران (۱۳۹۹):

- استفاده مجدد از زهاب برای اصلاح خاک های شور و سدیمی جنوب خوزستان امکان پذیر و مؤثر است و مصرف آب با کیفیت را کاهش می دهد.
- کاربرد تناوبی زهاب نسبت به اختلاط کامل، کارایی بیشتری دارد.
- راندمان آبیاری در نوبت های بیشتر ولی با عمق کمتر بالاتر است.
- آبیاری با زهاب علاوه بر کاهش شوری، مشکل سدیمی بودن خاک سطحی را نیز برطرف می کند و نیاز به مواد اصلاح کننده را از بین می برد و یا دست کم کاهش می دهد.

❖ مدیریت شوری با تغییر کاربری آب و گیاه

در مناطق دارای آب و خاک شور مانند کرمان، خوزستان و خراسان، مدیریت شوری با تغییر الگوی کشت و استفاده از گیاهان شورزی اهمیت دارد. این گیاهان می توانند در صنایع مختلف مانند کاغذ، دارو، سوخت و خوراک دام کاربرد داشته باشند. گونه هایی چون گز، آتریپلکس، تاغ، زردتاغ، سفیدتاغ و شاه گز در کاهش شوری خاک و سازگاری با محیط های شور مؤثر شناخته شده اند (Djavanshir et al., ۱۹۹۶). هرچند جذب نمک توسط گیاهان شورزی محدود است، اما در صورت برداشت و استفاده مناسب، می توان از بازگشت نمک به خاک جلوگیری کرد. در مراتع شور زده، این گیاهان منبع مهم علوفه دام به شمار می آیند و در سطح محلی کاربرد گسترده ای دارند.

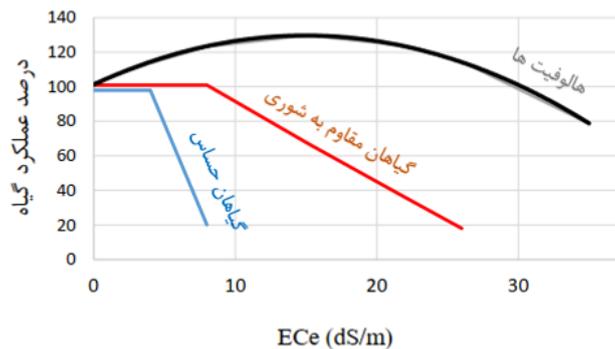
❖ شوری زدایی با سیلاب های فصلی

استفاده از سیلاب های فصلی در کشاورزی و احیای مراتع پیشینه ای طولانی دارد. سبزواری و خسروشاهی (۱۳۸۹) نشان دادند که آبیاری با سیلاب در منطقه کویری کال شور سبزواری باعث شست و شوی گچ از ناحیه ریشه و بهبود خاک می شود. در طرحی در بار آباد سبزواری، سیلاب های با شوری ۷ تا ۱۴ دسی زیمنس بر متر به مراتع آتریپلکس هدایت شد و تنها با یک نوبت آبیاری در سال، عملکرد علوفه افزایش یافت (Hazbavi, and Zabihi Silabi, ۲۰۲۱). این روش موجب توسعه دامداری، کاهش مهاجرت روستایی و گسترش بیش از ۳۰۰۰ هکتار مرتع در ده سال شد (فیله کش و هاشمی نژاد، ۱۴۰۲). تجربه های مشابه در آفریقا، آمریکا، چین و اسپانیا نیز نتایج مثبتی در بهبود اراضی شور و نیمه خشک داشته اند (Hazbavi, and Zabihi Silabi, ۲۰۲۱).

❖ امکان بهره برداری از زهاب در شوروزی

شوروزی عبارتست از تولید اقتصادی محصول کشاورزی در زمین شور و با آب شور. امکان زیادی وجود دارد که بتوان زهاب شور را به مصرف شوروزی رساند. در مدل مفهومی شکل ۲، بیشترین عملکرد گیاه در هدایت الکتریکی ۱۵ دسی زیمنس بر متر روی می دهد؛ نه در شوری بسیار پایین. در پایانه حوضه آبریز کرخه که در آن هدایت الکتریکی زهاب به ۲۵ دسی زیمنس

بر متر می رسد، یک مزرعه آزمایشی توانسته است برخی از گیاهان هالوفیت را پرورش دهد. هنوز مقاله ای از این اقدام منتشر نشده است.



شکل ۲: عملکرد گیاهان در برابر شوری

❖ آبتشویی اولیه و شوری زدایی از خاک

مهاجر میلانی و جواهری (۱۳۷۷) در پژوهشی بر پایه آزمایش‌های موسسه تحقیقات خاک و آب در استان‌های مختلف کشور گزارش کردند که به‌طور متوسط ۵۴٪ از نمک‌های موجود در عمق مشخص خاک با استفاده از همان عمق آب شسته می‌شوند. این یافته می‌تواند به‌عنوان قاعده‌ای سرانگشتی برای برآورد مقدار آب لازم جهت آبتشویی خاک‌های شور ایران استفاده شود. مطالعات دانشمندان هلندی نیز نتایج کم و بیش مشابهی نشان داده است:

- با عمقی از آب برابر عمق خاک مورد اصلاح، نزدیک ۵۰٪ نمک‌ها شسته می‌شود؛
- با دو برابر آن عمق، نزدیک ۸۰٪ نمک‌ها از بین می‌رود.

نتایج آبتشویی در ایران

نتیجه اقدامات انجام شده در باره آبتشویی به منظور کاهش مشکلات خاک‌های شور زده در کشور را می‌توان چنین خلاصه کرد (اکرم، ۱۴۰۱ و Akram، ۲۰۲۵):

- **آبتشویی همراه با زهکشی:** مطالعات نشان می‌دهد که استفاده همزمان از آبتشویی و زهکشی، راهکاری پایدار برای اصلاح خاک‌های شور است. نمونه موفق آن در اراضی نیشکر خوزستان دیده می‌شود.
- **زمان مناسب برای شوری زدایی به کمک زهکشی:** اقدامات اصلاحی باید پیش از رسیدن شوری یا سطح ایستابی به شرایط بحرانی آغاز شود تا از بروز شوری ثانویه و زهدار شدن جلوگیری شود.
- **عمق هدف آبتشویی:** هدف‌گذاری برای کاهش شوری باید تا کمی بیشتر از عمق ریشه باشد، نه تا عمق زهکش‌ها. اصلاح نهایی می‌تواند به‌صورت تدریجی انجام شود تا از مصرف بی‌رویه منابع جلوگیری شود.
- **خطر سدیمی شدن خاک‌های شور سدیمی:** در خوزستان، به دلیل وجود طبیعی کلسیم در خاک، نگرانی از سدیمی شدن کمتر است. در صورت نیاز، استفاده از آب‌های غنی از کلسیم و منیزیم یا زهاب مناطق مجاور توصیه می‌شود.
- **عدم نیاز به مواد اصلاح‌کننده در خوزستان:** خاک‌های این منطقه به‌دلیل دارا بودن کلسیم کافی، با آب معمولی قابل اصلاح هستند و نیازی به افزودن گچ نیست، هرچند زمان بیشتری برای اصلاح نیاز است.

• **زمان مناسب برای آبخوبی:** با وجود افزایش انحلال نمک‌ها در تابستان، تبخیر زیاد موجب هدررفت آب می‌شود. بنابراین، پاییز و زمستان زمان مناسب‌تری برای آبخوبی در خوزستان است.

• **تأثیر آبخوبی بر منابع زیرزمینی:** در مناطق خشک، نفوذ زهاب به سفره‌های آب زیرزمینی موجب افزایش شوری و آلودگی آن‌ها می‌شود.

• **کارآیی روش‌های مختلف آبخوبی:** آبخوبی متناوب نسبت به پیوسته کارتر است و آبیاری بارانی بیشترین کارآیی را دارد، اما تاکنون در ایران استفاده نشده است. **کارآیی آبخوبی بارانی < کارآیی آبخوبی متناوب < کارآیی آبخوبی پیوسته**

• **هزینه و منابع آب:** آبخوبی نیازمند حجم زیادی آب است و در صورت واقعی بودن قیمت آب، هزینه بالایی دارد. در مراحل ابتدایی می‌توان از زهاب زمین‌های مجاور استفاده کرد.

• **خطرات اصلاح خاک‌های سدیمی:** افزایش pH و تخریب ساختار خاک از جمله خطرات آبخوبی است. استفاده از زهاب غنی از کلسیم و منیزیم می‌تواند جایگزین مناسبی برای مواد اصلاح‌کننده باشد.

• **استفاده از گیاهان مقاوم به شوری:** در بسیاری موارد، نیازی به از بین بردن کامل شوری نیست. انتخاب گیاهان مقاوم و انجام آبخوبی تدریجی می‌تواند راهکار مؤثری باشد.

• **چالش اصلاح خاک‌های ریزبافت:** در خاک‌های رسی با شوری و سدیم بالا، حرکت آب دشوار است و اصلاح آن‌ها نیازمند مطالعات دقیق‌تر است. مناطق تبریز و رودشت اصفهان نمونه‌هایی از این شرایط هستند.

• **توصیه به استفاده از آبخوبی متناوب:** در صورت عدم امکان استفاده از آبیاری بارانی، روش متناوب به‌دلیل مصرف کمتر آب و مزایای دیگر توصیه می‌شود.

• **ملاحظات زیست‌محیطی:** آبخوبی می‌تواند منابع پذیرنده زهاب را آلوده کند. پیشنهاد می‌شود از آبیاری بارانی در شب استفاده شود.

شوری ثانویه

شوری ثانویه اغلب در حوضه‌های بین‌کوهی نیمه‌بسته یا بسته‌ای رخ می‌دهد که سابقه طولانی کشاورزی فاریاب دارند. عوامل اصلی این پدیده در ایران شامل موارد زیر است (Qadir et al., ۲۰۰۷؛ Cheraghi, ۲۰۱۲):

- آبیاری با آب‌های شور یا سدیمی در مناطق کم‌آب با مدیریت ضعیف
- نبود زهکشی مناسب برای دفع یا استفاده مجدد از زهاب شور
- استفاده از آبخوان‌های شور
- بیش آبیاری با آب شیرین در اراضی فاقد زهکشی
- چرای مفرط و تخریب پوشش گیاهی

ترکیب این عوامل موجب گسترش خاک‌های شور و سدیمی در بسیاری از مناطق کشور شده است (فائو، ۲۰۰۰؛ Qadir et al., ۲۰۰۷). نمونه‌های بارز آن در خوزستان، سیستان، مغان، زرینه‌رود، درودزن، ساوه و زاینده‌رود گزارش شده‌اند (Ghassemi et al., ۱۹۹۵؛ Qadir et al., ۲۰۰۷).

نقش نیتروژن در کشاورزی و محیط‌زیست

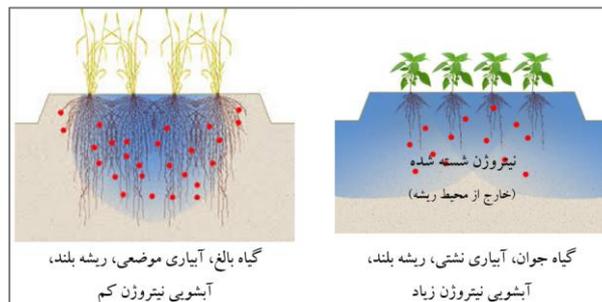
نیتروژن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است، اما مصرف بی‌رویه آن می‌تواند منجر به آلودگی خاک، آب‌های زیرزمینی و سطحی، و آسیب‌های زیست‌محیطی شود.

پیامدهای زیست‌محیطی مصرف بیش از اندازه کودهای نیتروژنی

- آلودگی منابع آب با نیترات و تهدید سلامت انسان و موجودات زنده
- یوتریفیکاسیون (Eutrophication) و کاهش اکسیژن در اکوسیستم‌های آبی
- ایجاد نواحی هیپوکسی (Hypoxic Zones) در مناطق ساحلی
- انتشار گازهای گلخانه‌ای مانند N_2O
- اسیدی شدن خاک و کاهش حاصلخیزی
- اختلال در چرخه طبیعی نیتروژن و کاهش تنوع زیستی
- بیماری‌های انسانی مانند متهموگلوبینمی یا کودک آبی (blue baby syndrome)
- وابستگی کشاورزی به نهاده‌های شیمیایی

عوامل مؤثر بر هدررفت نیتروژن

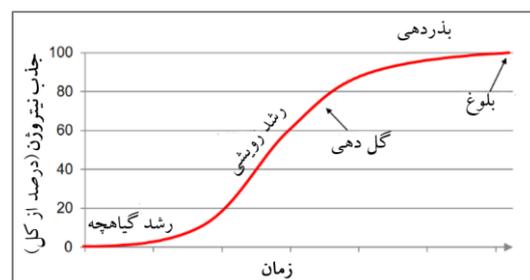
شکل ۳ مدل مفهومی هدررفت نیتروژن در خاک را نشان می‌دهد. هر چه سن گیاه بالاتر برود، تلفات نیتروژن در خاک کمتر می‌شود. روش آبیاری موضعی، تلفات را کاهش می‌دهد. هرچه ریشه گیاه بلندتر و خاک سنگین‌تر باشد، تلفات نیتروژن کمتر است. و شاید مهم‌تر از همه، با افزایش عمق آب آبیاری و بارش، تلفات بیشتر می‌شود.



دانشگاه کالیفرنیا، دیویس http://geissler.ucdavis.edu/Guidelines/N_Uptake.html

شکل ۳: مدل مفهومی هدررفت نیتروژن در خاک

جذب نیتروژن در ابتدای رشد گیاه کم است و مقدار زیادی از کود نیتروژنی داده شده به خاک هدر می‌رود و محیط زیست را آلوده می‌کند. در دوران رویشی، مصرف به سرعت زیاد می‌شود و تلفات نیتروژن کاهش می‌یابد. توجه به برنامه ریزی کوددهی می‌تواند به تخریب کمتر محیط زیست کمک کند. شکل ۴ مدل مفهومی جذب نیتروژن در گیاهان یک ساله نسبت به زمان را نشان می‌دهد.



گیسلر و هوروات، دانشگاه کالیفرنیا، دیویس http://geissler.ucdavis.edu/Guidelines/N_Uptake.html

شکل ۴: مدل مفهومی جذب نیتروژن در گیاهان یک ساله نسبت به زمان

راهکارهای کاهش خطرات زیست‌محیطی نیتروژن

❖ مدیریت کوددهی

- آزمون خاک و برگ برای تعیین نیاز واقعی
- مصرف مرحله‌ای کود
- استفاده از کودهای کندرها (slow-release) یا پوشش‌دار

❖ کاهش آبشویی و رواناب

- زمان‌بندی دقیق آبیاری
- استفاده از سیستم‌های کارآمد (نوار تیپ، قطره‌ای)
- نوارهای گیاهی بافر در اطراف زهکش‌ها
- کنترل شدت و زمان آبیاری بارانی

❖ روش‌های زیستی

- کشت تناوبی با لگوم‌ها
- گیاهان پوششی در فصل غیرزراعی
- استفاده از میکروارگانیسم‌های نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون

❖ مهارکننده‌های شیمیایی

- مهارکننده نیتریفیکاسیون و اوره‌آز برای کاهش آبشویی و تبخیر آمونیاک

❖ مدیریت منابع آبی و زهکش‌ها

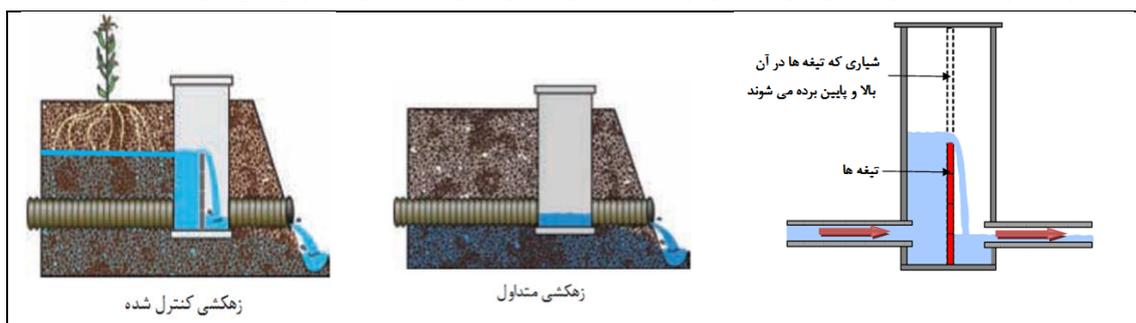
- تالاب‌های مصنوعی و حوضچه‌های ته‌نشینی
- پایش مستمر نیترات و آمونیاک

❖ مدیریت بقایای گیاهی و مواد آلی

- بازگرداندن کنترل‌شده بقایا به خاک
- کمپوست کردن کود دامی

❖ زهکشی کنترل‌شده

زهکشی کنترل شده در حقیقت به معنی مدیریت سطح ایستابی است. در شکل ۵ زهکشی متداول و کنترل شده مقایسه شده اند. در زهکشی کنترل شده، سطح آب درون خاک به وسیله ای مانند تیغه کنترل می شود. به این ترتیب، بخشی از آبی که در زهکشی متداول از زهکش خارج می شود، در خاک می ماند و گیاه از آن استفاده می کند (Tanji and Kielen, ۲۰۰۲). افزون بر این، با زهکشی کنترل شده نزدیک ۵۰ درصد ازت و ۶۰ درصد فسفر کمتری به محیط زیست وارد می شود. همچنین مقدار تولید محصولات نزدیک ۱۰ درصد افزایش یافته و نزدیک ۲۰ درصد در مصرف آب صرفه جویی می شود.



شکل ۵: زهکشی کنترل شده در مقایسه با زهکشی متداول

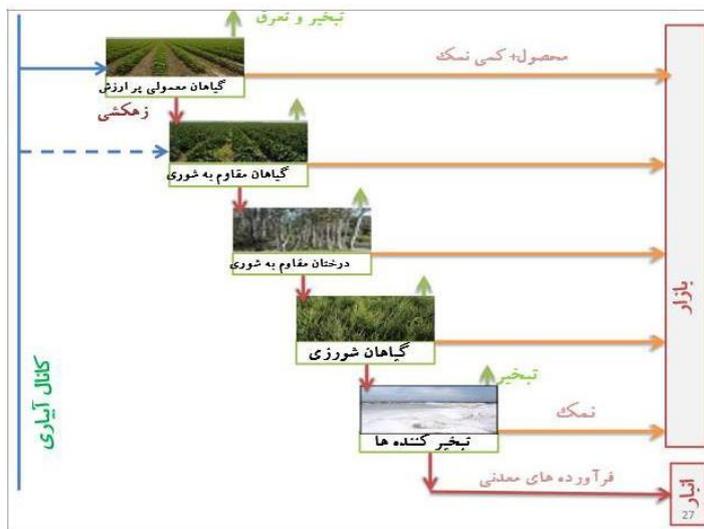
فواید زهکشی کنترل شده را می توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

- افزایش کارایی مصرف آب، کاسته شدن از حجم زهاب تولیدی و افزایش بهره وری آب؛
- هدر رفت کمتر فسفر و نیتروژن، افزایش حاصلخیزی خاک، حفظ تالاب ها و کاهش آسیب به محیط زیست؛
- کاهش هزینه ها، توسعه پایدار سامانه های آبیاری و زهکشی، و افزایش تعادل آبی در مناطق دچار کمبود آب.

❖ کاستن از ضریب زهکشی

ضریب زهکشی عمق آبی است که در یک شبانه روز از خاک خارج می شود و به زهکش می پیوندد. در ایران، در سال های اخیر کاستن از ضریب زهکشی همراه با کم کردن عمق نصب زهکش ها موجب کاهش زهاب و تخلیه کمتر آلاینده ها شده است.

❖ سامانه مدیریت جامع زهکشی در مزرعه



شکل ۶- سامانه جامع زهکشی در مزرعه

در سامانه مدیریت جامع زهکشی در مزرعه^۲، کشاورز به طور پیاپی از زهاب برای تولید محصولاتی با درجات گوناگون تاب آوری نمک استفاده می کند. در پایان زنجیره آبیاری با زهاب، حوضچه ای تبخیری قرار دارد که زهاب نهایی در آن با استفاده از نیروی تبخیری خورشید، تبخیر می شود و نمک به صورت بلور در می آید. شکل ۶ این مدل مفهومی را نشان می دهد. این روش، چنانچه به درستی اجرا و بهره برداری شود، روشی دوست دار محیط زیست به حساب می آید. استفاده از این سامانه برای مدیریت نمک

و آب در زمین های کشاورزی زهدار دو هدف اصلی دارد:

- استفاده از زهاب به عنوان منبعی برای تولید محصولات قابل فروش، و
- مدیریت نمک در زهاب بدون این که نمک از مزرعه بیرون برود.

نقش فسفر در کشاورزی و محیط زیست

پژوهش ها نشان می دهد که انتقال فسفر از مزارع کشاورزی، بیشتر از طریق جریان سطحی انجام می شود؛ به طوری که رواناب، فسفر محلول و ذره ای را جابه جا می کند. فسفر نقش مهمی در پدیده اوتروفیکاسیون (مغذی شدن بیش از اندازه آب) دارد که باعث افزایش بهره وری زیستی و کاهش شفافیت می شود و در نهایت پهنه آب را به مرداب تبدیل می کند. در تالاب ها، این فرایند بطور معمول از حالت الیگوتروفیک (فسفر کم) تا هیپرئوتروفیک (فسفر بسیار زیاد) پیش می رود.

² Integrated on-Farm Drainage Management (IFDM)

منابع انسانی فسفر شامل فاضلاب، رواناب کشاورزی (باقی مانده کود شیمیایی و دامی) و پساب‌های حاوی فسفات مواد شوینده است.

کاهش مشکلات فسفر در محیط‌زیست

در سه دهه اخیر، استفاده از گیاهان آبی (شناور، غوطه‌ور، نیمه‌غوطه‌ور) و ریزجلبک‌ها در تالاب‌های انسان ساخت برای حذف فسفر رایج شده است. اثربخشی این روش به عواملی مانند گونه گیاهی، زمان ماند هیدرولیکی، دما، نوع تالاب و غلظت پساب بستگی دارد. فناوری گیاه‌پالایی (Phytoremediation) با بهره‌گیری از گیاهان و میکروارگانیسم‌ها، به تصفیه آب و خاک آلوده کمک می‌کند. افزایش فسفر (بیش از ۶ میلی‌گرم در لیتر) موجب اوتروفیکاسیون، کاهش کیفیت و تنوع زیستی آب، و رشد شکوفه‌های جلبکی سمی می‌شود (RezaNia et al., ۲۰۲۱) که در محیط‌های مغذی می‌توانند مواد سمی تولید کرده و موجب بیماری‌های کشنده در ماهی‌ها، انسان و سایر جانوران شوند. یافتن راهکارهای مؤثر برای حذف فسفر، جهت دستیابی به سطح قابل قبول در منابع طبیعی ضروری است (Ayaz et al., ۲۰۱۲؛ Meinikmann et al., ۲۰۱۵).

آبشویی فسفر در خاک‌های کشاورزی

فسفر معمولاً از طریق آبشویی آرام یا با جریان ترجیحی در منافذ خاک حرکت می‌کند. اگرچه در بیشتر خاک‌ها مقدار آبشویی اندک است، اما ترکیب مدیریت نامناسب، ویژگی‌های خاک و شرایط اقلیمی می‌تواند موجب انباشت فسفر در افق‌های زیرین و انتقال آن به منابع آبی شود. این انتقال به هیدرولوژی حوضه و عمق نفوذ بستگی دارد. در خاک‌های معدنی، مصرف کود فسفوری بر اساس آزمون خاک معمولاً منجر به آبشویی قابل توجه نمی‌شود. اما در خاک‌های شنی عمیق یا در صورت مصرف بیش‌ازحد کود و مواد آلی، خطر انتقال فسفر به محیط‌زیست افزایش می‌یابد.

اثرات منفی فسفر بر زیست‌بوم‌های آبی

فسفر یکی از عوامل اصلی اوتروفیکاسیون در منابع آبی است. ورود فسفر و نیتروژن از رواناب کشاورزی و فاضلاب به دریاچه‌ها و رودخانه‌ها موجب رشد بیش‌از اندازه جلبک‌ها می‌شود. تجزیه این جلبک‌ها اکسیژن محلول را کاهش داده و پهنه‌های مرده (Dead zones) ایجاد می‌کند که حیات آبریان را تهدید می‌نماید (شکل ۷).



شکل ۷: شکوفایی جلبکی در دریاچه ارومیه

برخی جلبک‌ها بو، طعم و سموم خطرناک تولید می‌کنند. از دهه ۱۹۶۰ تاکنون، تعداد پهنه‌های مرده در جهان به‌طور چشمگیری افزایش یافته است؛ از جمله خلیج عمان، بین ایران، هند و عمان در گستره ای بیش از ۱۶۰ هزار کیلومتر مربع و خلیج مکزیک با وسعتی نزدیک ۲۳ هزار کیلومتر مربع (Yale University, ۲۰۱۸).

راهکارهای کاهش تلفات فسفر در سطح مزرعه

❖ مدیریت کود

- برنامه ریزی دقیق مدیریت کود، جزء اصلی هر برنامه اقدام اصلاحی برای کمینه کردن خطر تلفات مواد مغذی از زمین کشاورزی است. مدیریت کود از رویکرد "4R" پیروی می کند که در آن انتخاب کود مناسب (Right source)، به مقدار مناسب (Right rate)، در زمان مناسب (Right time) و در محل مناسب (Right place) مورد توجه قرار می گیرد. پاشیدن کود در سطح زمین عامل موثری در تلفات فسفر به شمار می رود. استفاده از کودهای با رهائش کنترل شده (مانند کودهای پوشش دار یا نانوکودها)، باعث کاهش شستشوی فسفر و افزایش کارایی جذب توسط گیاه می شود. تعیین دقیق نیاز فسفر خاک با آزمون خاک و استفاده از کود در زمان و مقدار مناسب، از مصرف بی رویه آن جلوگیری می کند. کوددهی نواری یا موضعی به جای پخش سطحی، باعث کاهش تماس فسفر با رواناب می شود.

❖ مدیریت حفاظت و انتقال فسفر

مدیریت حفاظت و انتقال فسفر به تلاش برای کنترل حرکت فسفر از خاک به مکان های حساسی مانند پهنه های آب شیرین اشاره دارد. تلفات فسفر از طریق رواناب سطحی و فرسایش را می توان با خاکورزی حفاظتی (Conservation tillage) و مدیریت بقایای گیاهی (Residue management)، نوارهای بافر (Buffer strips)، مناطق ساحلی (Riparian zones)، تراس بندی (Terracing)، خاکورزی روی خطوط تراز (Contour tillage)، گیاهان پوششی (Cover crops) در فصل غیرزرعی، و حوضچه های سر راهی (Impoundments) کاهش داد. این شیوه ها باعث کاهش تأثیر برخورد قطره های باران بر سطح خاک، کاهش حجم و سرعت رواناب و افزایش مقاومت خاک در برابر فرسایش می شود. با این حال، هیچ یک از این اقدامات نباید به عنوان تنها روش برای کاهش رواناب فسفر دانسته شود.

❖ اصلاح روش های آبیاری

کاهش شدت جریان آب در آبیاری سطحی باعث کاهش رواناب و انتقال فسفر می شود. زمان بندی مناسب آبیاری به ویژه پس از کوددهی، و استفاده از آبیاری قطره ای یا بارانی به طور چشمگیری انتقال فسفر را کاهش می دهد.

❖ پایش و ارزیابی مداوم

پایش کیفیت زهاب و روانابها برای بررسی اثربخشی اقدامات مدیریتی ضروری است. استفاده از مدل های شبیه سازی انتقال فسفر مانند SWAT یا AnnAGNPS می تواند به تصمیم گیری های مدیریتی کمک کند.

راهکارهای کاهش تلفات فسفر در سطوح بزرگتر

محصولات جانبی صنایع

برای کاهش غلظت فسفری که با رواناب از مزرعه خارج می شود، چندین محصول جانبی صنایع وجود دارند که توانایی چسبیدن به مقادیر زیادی از فسفر دارند. چنین موادی عبارتند از: خاکستر آتشفشانی، سرباره فولاد، زهاب معادن اسیدی، بقایای تصفیه آب آشامیدنی و گچ و نیز خروجی گازهای برخی صنایع.



شکل ۸: چند سازه جاذب فسفر

❖ حذف فسفر توسط گیاهان شناور

در مطالعات بسیاری از پژوهشگران، توانایی برخی از گیاهان شناور مانند کاهوی آبی (*Pistia stratiotes*)، آزولا و سنبل آبی (*Eichhornia crassipes*) در حذف فسفر از منابع آبی آلوده به خوبی مستند شده است. به عنوان نمونه، سنبل آبی که ماکروفیت شناور موثری است، توانسته است در یک آزمون ۷۱/۶ و بار دیگر ۸۲ درصد فسفر کل را حذف کند (RezaNia et al, ۲۰۲۱). در آزمونی دیگر، کاهوی آبی که ریشه‌های بلندی دارد، دارای راندمان حذف ۹۳/۶ درصد فسفر کل بوده است. گونه‌هایی از آزولا که نرخ رشد بالایی دارند، نیز در از میان برداشتن فسفر کل موفق بوده‌اند. به تازگی Kumar and Deswal (۲۰۲۰) از چهار گونه گیاه شناور (علف اردک، کاهوی آبی، سالونیا و سنبل آبی) برای این منظور استفاده کردند. میانگین کاهش فسفر کل در این پژوهش‌ها ۸۰ درصد اعلام شد.

نتیجه گیری

با افزایش آگاهی عمومی نسبت به اهمیت پایداری محیط زیست، مطالعات زهکشی به سوی کاهش تخریب و ارتقای کیفیت زیست محیطی سوق یافته است. دفع نمک، باقی مانده کودها و سموم علف کش و آفت کش‌ها از جمله محورهای اصلی مطالعات جدید به شمار می‌رود. شور شدن منابع آب و خاک، یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی مرتبط با کشاورزی در کشور است. در این مطالعه، رودخانه کارون به عنوان یکی از بزرگ‌ترین منابع پذیرنده زهاب مورد بررسی قرار گرفته و چندین روش برای کاهش مشکلات شوری خاک معرفی شده است. در پنجاه سال گذشته آزمون‌های آبشویی زیادی در کشور، و بویژه در خوزستان انجام شده که در این نوشتار جمع بندی و ارائه شده است. مصرف کودهای نیتروژنی و فسفوری در کشور بالاست. بخش‌های مصرف نشده کودها از جمله شدیدترین آلاینده‌های آب هستند. کوشش‌های چندانی برای آگاهی رسانی عمومی در این باره انجام نشده است. در این مقاله تلاش شده است که به راه‌های کاهش خطرهای کودهای نیتروژنی و فسفوری پرداخته شود.

منابع

۱. اکرم، م.، ۱۴۰۱. زهکشی کشاورزی، تجربه‌های ایران، جلد دوم: معیارهای طراحی زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
۲. اکرم، م.، ۱۴۰۱. زهکشی کشاورزی، تجربه‌های ایران، جلد نخست: وضع موجود آب و خاک، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران
۳. دادرسی سبزواری، ا.، خسروشاهی، م. ۱۳۸۹. اثرهای استفاده از سیلاب‌های با کیفیت پایین بر آبشویی خاک‌های کویری (مطالعه موردی: منطقه برآباد سبزواری)، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد ۱۷، شماره ۱، ۱۲۷ تا ۱۴۸
۴. شریفی پور، م.، هوشمند، ع.، نصری، ع.، حسن اقلی، ع.، معاضد، ه.، ۱۳۹۹. اثر روش آبشویی و نحوه کاربرد آب و زهاب بر شوری زدایی و سدیم زدایی خاک‌های سنگین، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۲

۵. مهاجر میلانی، پ.، جواهری، پ. ۱۳۷۷. آب مورد نیاز شستشوی خاک‌های ایران، انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، موسسه تحقیقات آب و خاک. چاپ اول. ص ۱۰۳
۶. هاشمی نژاد، ی، همایی، م، نوروزی ع. ا. مدل سازی آماری شوری خاک در پهنه های گسترده آب و خاک، ۲۰۱۷، ۳: ۳۱-۹۲۹-۹۴۲
۷. هاشمی نژاد، ی، فیله کش، ا. ۱۴۰۲. زراعی کردن برخی گونه های آتریپلکس برای توسعه در سیستم های شورورزی ایران، مجله علمی شورورزی، شماره اول
- 8 Akram, M. (2025). *Environmental drainage*. International Commission on Irrigation and Drainage. ISBN 978-81-89610-50-0
- 9 Ayaz, S. C., Aktas, O., Findik, N., and Akca, L. (2012). "Phosphorus removal and effect of adsorbent type in a constructed wetland system." *Desalination and Water Treatment*, 37(1–3), 152–159.
- 10 Cheraghi, S. A. M., 2012, Edited by: Mary K. Halim, Status and New Developments on the Use of Brackish Water for Agricultural Production in the Near East, Iran Country Report, United Nations Food and Agriculture Organization Regional Office for the Near East (RNE)
- 11 Ghassemi, F., Jakeman, A. J., & Nix, H. A. (1995). *Salinisation of land and water resources: Human causes, extent, management and case studies*. University of New South Wales Press
- 12 FAO. (2000). *Global network on integrated soil management for sustainable use of salt-affected soils. Country Specific Salinity Issues – Iran*, FAO, Rome, Italy.
- 13 Hazbavi, Z., Zabihi Silabi, 2021. Innovations of the 21st century in the management of Iranian salt-affected lands. In *Future of Sustainable Agriculture in Saline Environments*, CRC Press, pp 147-170
- 14 Homaei, M, Pazira, E. 2003. Salt-affected resources in Iran extension and reclamation, International Conference on Water-Saving Agriculture and Sustainable Use, Journal of Experimental Botany
- 15 <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101933>.
- 16 <https://e360.yale.edu/digest/scientists-confirm-florida-sized-dead-zone-in-the-gulf-of-oman>
- 17 <https://epi.envirocenter.yale.edu/epi-indicator-report/WRS?country=iran>
- 18 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186421005812>
- 19 Humboldt University of Berlin, August 2017, Water Quality for Irrigation in Khuzestan Based on Selected Hydrometric Stations in Dez, Karun, Maroon, Zohre and Karkhe River Basins
- 20 Djavanshir K, Dasmalchi H, Emararty A. 1996. Ecological and ecophysiological survey on sexual Euphrate poplar and Athel trees in Iranian deserts. *Journal of Biaban (Iran)* 1: 67–81.
- 21 Kumar, S., Deswal, S., 2020. Phytoremediation capabilities of *Salvinia molesta*, water hyacinth, water lettuce, and duckweed to reduce phosphorus in rice mill wastewater. *Int. J. Phytoremediat.* 1-13. <http://dx.doi.org/10.1080/15226514.2020.1731729>.
- 22 Meinikmann, K., Hupfer, M., & Lewandowski, J. (2015). Internal phosphorus loading in a small, eutrophic lake: Effects of seasonality and redox conditions at the sediment–water interface. *Journal of Hydrology*, 524, 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.02.031>
- 23 Qadir, M., Oster, J. D., Schubert, S., Noble, A. D., and Sahrawat, K. L. (2007). "Advances in agronomy." Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)96006-X](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)96006-X).
- 24 Qadir, M., Qureshi, A. S., and Cheraghi, S. A. M. (2008). "Extent and characterization of salt-affected soils in Iran and strategies for their amelioration and management." *Land Degradation & Development*, 19(2), 214–227.
- 25 Rezania, Sh., Kamyab, H., Rupani, P. F., Park, J., Nawrot, N., Wojciechowska, E., Krishna Kumar Yadav, K., Lotfi Ghahroud, M., Mohammadi, A. K., Thirugnana, S. T., Chelliapan, Sh., Cabral-Pinto, M. M.S. 2021. Recent advances on the removal of phosphorus in aquatic plant-based systems, *Environmental Technology & Innovation*, Volume 24, ISSN 2352-1864

- 26 Tanji Kenneth K. and Neeltje C. Kielen, 2002. Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas, FAO publication 61, ISBN 9251048398
- 27 Yale Center for Environmental Law & Policy, Yale University, Environmental Performance Index (EPI) 2022, Ranking country performance on sustainability issues
- 28 Yale Environment 360, DIGEST, APRIL 30, 2018. Published at the [Yale School of the Environment](#)
- 29 Yale Environment 360, DIGEST, APRIL 30, 2018. Published at the Yale School of the Environment <https://e360.yale.edu/digest/scientists-confirm-florida-sized-dead-zone-in-the-gulf-of-oman>

Drainage and Aquatic Environment

Mojtaba Akram

Free lance drainage expert and member of Iranian National Committee on Irrigation and Drainage

Abstract

Iran has approximately 560,000 hectares of agricultural land equipped with subsurface drainage systems, of which nearly 320,000 hectares are located in Khuzestan Province. With growing awareness of environmental sustainability, drainage studies have increasingly focused on minimizing ecological damage and enhancing environmental quality. The removal of salts, residual fertilizers, herbicides, and pesticides has become a central theme in drainage research. In addition to reusing drainage water once or multiple times, several "edge-of-field" technologies—such as bioreactors, vegetative buffers, and saturated buffers—are employed to improve drainage water quality. The increasing salinization of the country's water and soil resources is one of the most pressing environmental concerns related to agriculture. This study highlights the Karun River as a major recipient of agricultural drainage and introduces several pollutant reduction strategies. It also presents approaches to mitigate the environmental risks posed by nitrogen and phosphorus, which are among the most significant agricultural contaminants.

Keywords: Drainage, environment, nitrogen, phosphorus, soil and water salinity.