یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

مقاله شماره ۲۳

عنوان مقاله:

مدیریت استفاده از فاضلاب صنعتی در کشاورزی

تألیف:

آرش ذامیادی[۱]، عبدالمجید لیاقت[۲]، غلامرضا ثواقبی[۳]، علیرضا حسن‌اقلی[۴]

چکیده

رشد روزافزون جمعیت و افزایش تقاضا برای آب و غذا از یک طرف و محدود بودن منابع آبی و خشکسالی‌های اخیر از طرف دیگر نظر برنامه‌ریزان و متخصصین علوم آب را به استفاده از آب‌های نامتعارف (آب‌های شور و فاضلاب‌ها) معطوف کرده است. برخی از محققین نیز استفاده از فاضلاب در کشاورزی را به عنوان راه حلی جهت تخلیه فاضلاب‌ها در محیط زیست پیشنهاد می‌کنند که در حقیقت پالایش اینگونه پساب‌ها در اراضی کنترل شده زراعی مدنظر می‌باشد. استفاده از فاضلاب در کشاورزی مزایای زیر را می‌تواند به دنبال داشته باشد. اولاً جایگزین مناسبی برای آب‌های با کیفیت خوب که در کشاورزی استفاده می‌شوند می‌باشد، ثانیاً مواد غذایی موجود در فاضلاب نیاز گیاهان به کود را کاهش خواهد داد، ثالثاً در غالب شهرهای بزرگ و صنعتی پساب‌های شهری و صنعتی به عنوان یک منبع ارزان قیمت و مطمئن (امکان دسترسی دائم) شناخته شده‌اند. لیکن استفاده از این پساب‌ها در کشاورزی به دلیل وجود برخی آلاینده‌ها (عناصر سنگین) و تبعات بسیار مخرب آنها بر محیط زیست به سادگی استفاده از آب‌های معمولی نیست و نیاز به یک سری تمهیدات و تدابیر مدیریتی دارد.

هدف اصلی از این تحقیق ارائه راه حلی جهت استفاده از فاضلاب‌های صنعتی برای کشت گیاهان مختلف می‌باشد. بدین نحو که از بخش کوچکی از مزرعه که مجهز به سیستم زهکشی زیرزمینی می‌باشد، به

۱- کارشناس آبیاری از گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۲- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه تهران

۴- عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی ایران

عنوان فیلتری جهت جذب فلزات سنگین از پساب آلوده و از گیاهان کشت شده در آن برای جذب فلزات به دام افتاده در خاک استفاده خواهد شد؛ زه‌آب پالایش شده توسط این سیستم جهت آبیاری بقیه اراضی مصرف خواهد شد. برای انجام این تحقیق ۹ عدد لیسیمتر به قطر ٦۰ سانتیمتر و ارتفاع یک متر از جنس پلاستیک به همراه یک لوله زهکش در کف هر یک، تهیه گردید و با خاک سبک سندی لوم پر شدند. این لیسیمترها ابتدا تا هنگام استقرار گیاه با آب چاه آبیاری شدند و پس از آن آبیاری با پساب صنعتی (آب آلوده به سرب به میزان mg/l ۲، مس به میزان mg/l ۱ و روی به میزان mg/l ۲۵) صورت گرفت. آفتابگردان با مصرف صنعتی و یولاف و نی با مصرف علوفه‌ای گیاهان مورد مطالعه بودند که هر یک در سه لیسیمتر کشت شدند. به منظور بررسی توانایی خاک در جذب فلزات سنگین نمونه‌های آب قبل از ورود به لیسیمتر و بعد از خروج از آن تهیه و آنالیز گردیدند. غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده از زه‌آب در تمام تیمارها زیر حد مجاز مشاهده شد که بیانگر عملکرد بسیار بالای سیستم خاک (بالای ٪۹۸/۵) در جذب فلزات می‌باشد. بدین ترتیب می‌توان با اعمال برنامه مدیریتی فوق از زه‌آب پالایش شده اینگونه مزارع کنترل شده، برای آبیاری سایر اراضی زراعی استفاده نمود. در انتهای دوره آزمایش نمونه‌های گیاهی نیز جهت تعیین میزان جذب فلزات سنگین از خاک تهیه و آنالیز گردید. میزان جذب روی توسط گیاهان نسبت به دو فلز دیگر بیشتر بود که دلیل آن غلظت زیاد روی در خاک می‌باشد. درصد جذب فلزات توسط گیاهان مورد مطالعه بین ٪۰/۰۵٦ و ٪٤/۱۹۸ اندازه‌گیری گردید که بر پالایش سیستم توسط گیاه دلالت دارد.

واژه‌های کلیدی:
پساب صنعتی، روی، مس، سرب، زه‌آب پالایش شده، فاضلاب در کشاورزی، پالایش گیاهی

مقدمه:

جمعیت جهان با نرخی معادل ۱/۷ درصد در حال افزایش است و طبق آمار سالانه بیش از ۹۰ میلیون نفر به مصرف‌کنندگان محصولات کشاورزی افزوده می‌شود. بنابراین افزایش تولید محصولات زراعی برای تأمین نیازهای این جمعیت رو به افزایش ضروری می‌باشد. در سال‌های اخیر با اعمال روش‌های مناسب مدیریت مزرعه، استفاده از نظامهای تولیدی بهینه، به کارگیری قنون جدید مبارزه با آفات و بیماری‌ها و استفاده بهینه از منابع آب شاهد افزایش بازدهی محصولات کشاورزی در سطح جهانی بوده‌ایم. در این میان با توجه به اهمیت تأمین آب مورد نیاز برای آبیاری در زمان مناسب و به مقدار کافی، آب به مهمترین عامل تنش‌زا در عرصه مدیریت کشاورزی تبدیل شده است. علاوه بر این بروز پدیده خشکسالی و بحران‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی ناشی از آن بیش از پیش بر اهمیت موضوع تأمین آب افزوده و نظر کارشناسان و متخصصان علوم آب را به سوی منابع جدید تأمین آب جلب نموده است. اهمیت موضوع در سرزمین‌های خشک مانند ایران با متوسط نزولات آسمانی حدود ۲۵۲ میلیمتر در سال چندین

برابر می‌شود؛ لازم به ذکر است که توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارندگی‌ها در سرزمین ایران مزید بر علت شده و تنها حدود۳۰ درصد از خاک کشور از آب کافی برای کشاورزی برخوردار می‌باشد. در اکثر نقاط ایران کشاورزان با کمبود آب مواجه بوده و همین منابع محدود آب نیز به سبب رشد روزافزون صنایع و آلودگی شدید پساب‌های صنعتی و همجواری آنها با مراکز کشاورزی و همچنین نفوذ این آلودگی‌ها به منابع سطحی و زیرزمینی آب کشور، آلوده و برای آبیاری نامناسب می‌باشند. امروزه آلودگی پساب کارخانجات صنعتی و خاک‌های مجاور آنها به یک نگرانی ملی تبدیل شده و یافتن راه حل‌هایی برای رفع این خطرات پیش از بروز فاجعه‌ای زیست محیطی در بسیاری از نقاط کشور ضروری می‌باشد.

برخی از محققین و برنامه‌ریزان استفاده از فاضلاب تصفیه شده در کشاورزی را به عنوان راه حلی جهت تخلیه فاضلاب‌ها در محیط زیست پیشنهاد می‌کنند. تصفیه فاضلاب‌ها به خصوص فاضلاب‌های صنعتی با روش‌های متداول بسیار دشوار و پرهزینه می‌باشد. به نظر می‌رسد که استفاده از فرآیندهای طبیعی از جمله پتانسیل‌های فیزیولوژیکی گیاهان سبز راه حلی مطمئن، کم هزینه و نسبتاً سریع می‌باشد. که تجربه کشورهای توسعه یافته که از سال‌ها پیش درگیر چنین معضلاتی بوده‌اند، امکان پالایش پساب‌ها و خاک‌های آلوده با استفاده از گیاهان سبز را تایید می‌کند. تلاشهای انجام شده در اینگونه کشورها بویژه در سه دهه اخیر تحت عنوان کلی phytoremediation (پالایش سبز) طبقه‌بندی شده‌اند. در حقیقت در این پژوهش از پالایش سبز به عنوان یک روش برای مدیریت استفاده از پساب‌های خام صنعتی در کشاورزی استفاده خواهد شد. با توجه به اصول پالایش سبز و نتیجه کار می‌توان چنین برآورد نمود، که با اعمال این شیوه مدیریت علاوه بر استفاده مستقیم از پساب‌های آلوده جهت آبیاری مزارع کنترل شده زراعی می‌توان از زهاب تصفیه شده آن جهت کشاورزی به شیوه‌های متداول استفاده نمود.

در این میان می‌توان به پالایش گیاهی مواد لاروب شده و گل‌های روان توسط لی و همکاران در سال ۱۹۷٦؛ پالایش سبز خاک‌های آلوده به فلزات سنگین توسط یامادا و همکاران در سال ۱۹۷۵؛ تصفیه گیاهی روان آب سطحی و کنترل فرسایش خاک توسط شیمپ و همکاران در سال ۱۹۹۲؛ جلوگیری از جابجایی آلاینده‌ها و حفاظت از آبراهه‌ها و خاکریزها با استفاده از گیاهان سبز توسط مک آنی و همکاران در سال ۱۹۸۵ و لیچ در سال ۱۹۹۳؛ استفاده از گیاهان مقاوم به فلزات سنگین مانند Festucarubra (نی سرخ)، برای کاشت و کنترل فرسایش خاک در معادن فلز و بندآب‌های بزرگ توسط برادشو و چادویک در سال ۱۹۸۰؛ اصلاح مواد لاروب شده اسیدی و آلوده به فلزات سنگین با استفاده از گیاهان سبز در سال ۱۹۹۱ توسط براندون و همکاران؛ استفاده از گیاهان با ظرفیت ذخیره بالا (hyperaccumolator) برای اصلاح خاک‌های آلوده به فلز توسط یامادا و همکاران در سال ۱۹۷۵، ارنست در سال ۱۹۸۸ و باکر و همکاران در سال ۱۹۹۱؛ کشت نیزار در سطحی پر از آب آلوده به فلزات سنگین به منظور حذف آلودگی با استفاه از قدرت جذب نی (نوعی علف مرداب)، توسط مرکز تحقیقات توسعه پایدار شرکت شل در صحرای عمان در سال ۲۰۰۲؛ [۳، ۷] به عنوان تجارب موفق جهانی اشاره کرد. در بسیاری از موارد بالا پالایش در یک

مزرعه کنترل شده صورت گرفته و سعی شده است تا پس از برداشت گیاهان کشت شده، از اندام غیرآلوده آنها جهت مصارف زراعی، علوفه‌ای و صنعتی استفاه شود.

در این میان نکته اصلی انتخاب گیاهانی می‌باشد که ضمن پالایش پساب‌ها و خاک‌های آلوده امکان تکمیل دوره رشد آنها در شرایط آلودگی نیز وجود داشته باشد. امروزه سعی می‌شود تا حد امکان از گیاهان بومی و محلی برای این منظور استفاده شود، چراکه امکان پرورش و تطابق گیاهان سایر سرزمین‌ها با شرایط سرزمین مقصد با توجه به شرایط زندگی نامطلوب این گیاهان در پساب‌های آلوده بسیار دشوار می‌باشد، در ضمن پراکندگی گونه‌های مختلف گیاهی در نقاط مختلف کره زمین چنین الزاماتی را به کمترین حد ممکن کاهش می‌دهد. بنابراین انجام کارهای تحقیقاتی بر روی گونه‌های گیاهی سرزمین ایران و انتخاب گونه‌های مناسب، بسیار حیاتی می‌باشد؛ چراکه تحقیقات انجام شده در این زمینه در ایران کم بوده و اطلاعات موجود در مراکز علمی در مورد پتانسیل جذب گیاهان بومی ایران از نظر فلزات سنگین و دیگر آلاینده‌ها بسیار اندک می‌باشد.

با توجه به ضروریات بالا این پژوهش به منظور نیل به اهداف زیر انجام گرفته است،

۱- بررسی امکان مدیریت کشاورزی با استفاده از پساب‌های آلوده و همچنین استفاده از زه‌آب تصفیه شده جهت آبیاری مزارع به شیوه‌های متداول
۲- بررسی و تعیین میزان جذب فلزات سنگین(سرب، مس و روی) توسط خاک از آب
۳- بررسی عملکرد گیاهان مختلف (آفتابگردان، یولاف و نی) در جذب فلزات سنگین از خاک و میزان پراکندگی آلودگی در اندام مختلف این گیاهان

در عین حال با توجه به درک ضروریات بالا از سوی دولتمردان امروز ایران و رویکردهای برنامه سوم توسعه کشور، انجام تحقیقات گسترده و همه جانبه در سطح مراکز دانشگاهی و پژوهشی به ارائه راه حلهایی علمی و عملی انجامیده و موجب گستردگی هر چه بیشتر دایره تصمیم‌گیری مسئولان امر خواهد شد. به علاوه انجام چنین تحقیقاتی به ورود علوم و فنون جدید به کشور کمک کرده و امکان تطبیق هر چه بیشتر دستاوردهای نوین بشری را با شرایط بومی ایران فراهم می‌سازد.

وسایل و روش‌ها:

بررسی میزان جذب فلزات سنگین توسط خاک به محیط کاشت کنترل شده‌ای احتیاج دارد تا امکان اندازه‌گیری پارامترهای مختلف پساب ورودی و خروجی فراهم گردد. بدین منظور ۹ عدد لیسیمتر از جنس پلاستیک تهیه شد. لیسیمترها به صورت بشکه‌هایی به قطر ٦٠ سانتیمتر و ارتفاع یک متر انتخاب شدند که بر روی سکوهایی مستقر شدند.

به منظور خروج آب از انتهای لیسیمتر و در واقع زهکشی آن لوله‌ای از جنس PVC به قطر ٥ سانتیمتر در کف لیسیمتر نصب شد. که حدود ۱/۳ طول لوله از انتهای دیواره بشکه خارج شده است. بر روی لوله زهکش و در چهار جهت با استفاده از مته‌ای به قطر ۲ میلیمتر روزنه‌هایی به فاصله ۳ سانتیمتر ایجاد شد.

سپس تمام طول لوله که در داخل لیسیمتر قرار می‌گرفت با استفاده از پوشش ژئوتکستایل پوشانده شد. لیسیمتر در محل خروج لوله از داخل و خارج بوسیله چسب آکواریوم آب‌بندی شد. در این پژوهش از خاک سبک سندی- لوم با ٪۵۴/۷ ماسه، ٪۲۸/۵ سیلت و ٪۱۶/۸ رس برای کاشت گیاهان استفاده شد. به منظور تأمین تراکم مناسب خاک پس از پر شدن یک سوم حجم لیسیمتر خاک اشباع و سپس آب ثقلی آن تخلیه شد. پس از زهکشی شدن آب ثقلی، یک سوم دیگر نیز با خاک پر شده و به روش قبلی متراکم گردید. این کار تا پر شدن لیسیمتر از خاک ادامه یافت.

پس از آماده شدن لیسیمترها، گیاهان آفتابگردان، یولاف و نی هرکدام در سه لیسیمتر به صورت بلوک‌های تصادفی کشت گردیدند. به جز آفتابگردان که بذر آن کشت گردید بوته دو گیاه دیگر (یولاف و نی) همراه با ریشه از اطراف زهکش‌های مزرعه دانشکده کشاورزی تهیه و به لیسیمترها منتقل گردید. به منظور استقرار گیاهان یولاف و نیز و تا مرحله چهار برگی شدن آفتابگردان لیسیمترها با آب معمولی آبیاری شد. ضمنا پیش از شروع آزمایش نمونه آب چاه نیز تهیه و آنالیز گردید که نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردیده است. پس از آن آبیاری با فاضلاب مصنوعی حاوی سرب، روی و مس انجام گرفت.

جدول ۱- نتایج آنالیز آب چاه

پارامتر مورد مطالعه	نتیجه آنالیز	واحد پارامتر
EC	0.660	ds/m
PH	7.510	-
Na	1.690	Meq/lit
Ca	3.000	Meq/lit
Mg	4.000	Meq/lit
K	0.000	Meq/lit
Cl^-	1.980	Meq/lit
HCO_3^-	3.250	Meq/lit
SO_4^{2-}	2.860	Meq/lit
Zn	0.012	Mg/lit
Cu	0.000	Mg/lit
Pb	0.000	Mg/lit

به منظور تهیه فاضلاب مصنوعی، نمک فلزات مذکور در آب معمولی حل شدند. میزان انحلال فلزات در آب یا میزان آلودگی بر اساس دو برابر بیشینه غلظت یافت شده در نهر فیروزآباد در جنوب شهر تهران، تعیین گردید؛ که نتایج آنالیز شیمیایی آب نهر فیروزآباد در جدول ۲ مشاهده می‌شود. بنابراین غلظت این عناصر در فاضلاب تهیه شده برای روی ۲۵mg/l برای مس ۱mg/l و برای سرب ۲mg/l منظور گردید.

جدول ۲- آنالیز شیمیایی آب در نهر فیروزآباد-mg/l

فلز سنگین	کمینه	منوسط	بیشینه	تعداد نمونه‌ها
روی	0.056	1.19	13.13	50
مس	0.039	0.095	0.28	50
سرب	0.014	0.13	0.96	50

آبیاری لیسیمترها با آب آلوده یک روز در میان صورت گرفت و در هر آبیاری به هر لیسیمتر ۱٦ لیتر آب داده شد. لازم به ذکر است که به منظور تأمین زمان ماندابی لازم در گیاهان نی و یولاف، زهکش لیسیمترهایی که گیاهان مذکور در آنها کشت شده بود تا ظهر روز بعد از هر آبیاری بسته شده و سپس برای تهویه خاک، مجدداً باز می‌شدند. در فاصله ۳، ۱۰، ۲۰، ۲۸، ۳۳، ٤۳، ٤۹، ٥٦، ٦٥، ۷۱، ۸۹ روز از آغاز نخستین آبیاری با آب آلوده به فلزات روی، مس و سرب، از زه‌آب خروجی از لیسیمترها با گذاشتن ظروف ۰,۲ لیتری در زیر زهکش آنها نمونه‌برداری گردید. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه جذب اتمی آنالیز شده و غلظت فلزات سنگین موجود در زه‌آب خروجی از لیسیمتر مربوط به هر یک از سه گیاه کشت شده تعیین گردید.

به منظور تعیین میزان فلزات اولیه در خاک، پیش از شروع آبیاری با پساب آلوده به فلزات سنگین، از خاک درون لیسیمترها نمونه‌گیری شد و میزان سرب، روی و مس موجود در خاک تعیین گردید. به منظور تهیه عصاره خاک، ابتدا محلولی مرکب از ۱۹۲,٥ گرم آمونیوم استات، ۱۲٥ میلی لیتر اسید استیک خیلی سرد و ۲۹,۲۲٥ گرم EDTA اسید (اتیلن دی امین تترا – اسید استیک) تهیه و در ۳ لیتر آب مقطر حل شد. ۲۰ گرم خاک از هر نمونه تهیه شده، برداشت و همراه با ۱۰۰ میلی لیتر از محلول مذکور به مدت ۳۰ دقیقه توسط شیکر به هم زده شد. پس از آن با عبور نمونه‌ها از کاغذ صافی به قطر ۱۲٥ میلیمتر، عصاره خاک تهیه گردید و با استفاده از دستگاه جذب اتمی میزان غلظت فلزات سنگین موجود در عصاره خاک تعیین گردید [۱].

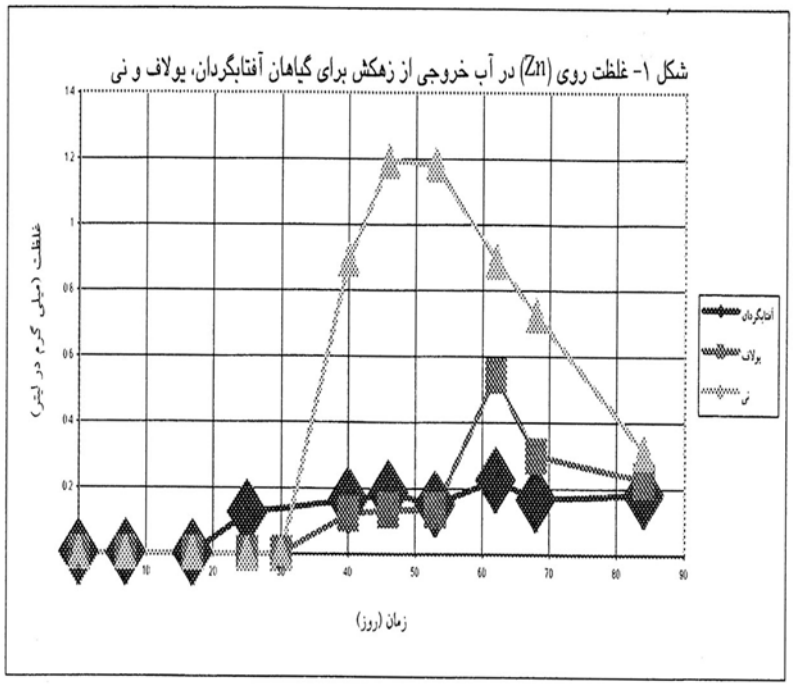
به منظور تعیین میزان جذب فلزات توسط سه گیاه آفتابگردان، یولاف و نی نمونه‌های گیاهی در انتهای فصل تهیه گردید. بدین منظور کلیه ریشه، ساقه، برگ و تخم آفتابگردانها، ریشه و اندام هوایی یولاف و نی به صورت جداگانه جمع‌آوری و به مدت ۲٤ ساعت در اتو در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد خشک شدند. پس از توزین و آسیاب اندام خشک شده، غلظت فلزات در کلیه نمونه‌ها آنالیز و تعیین گردید.

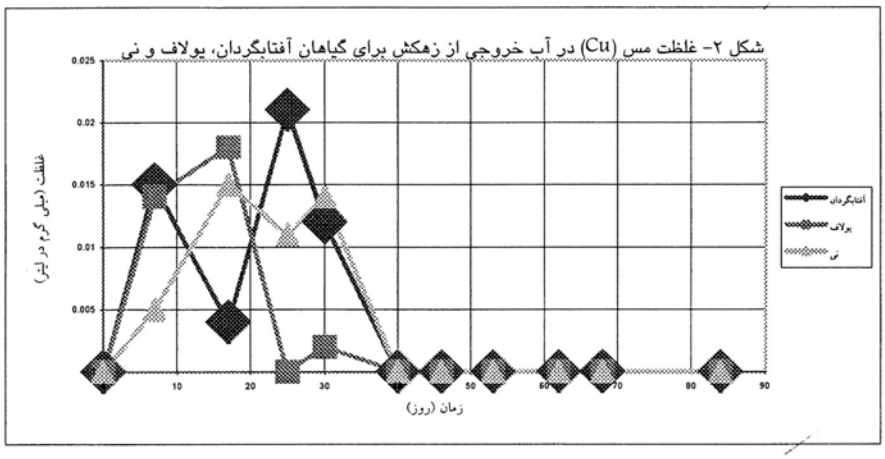
نتیجه‌گیری و بحث:

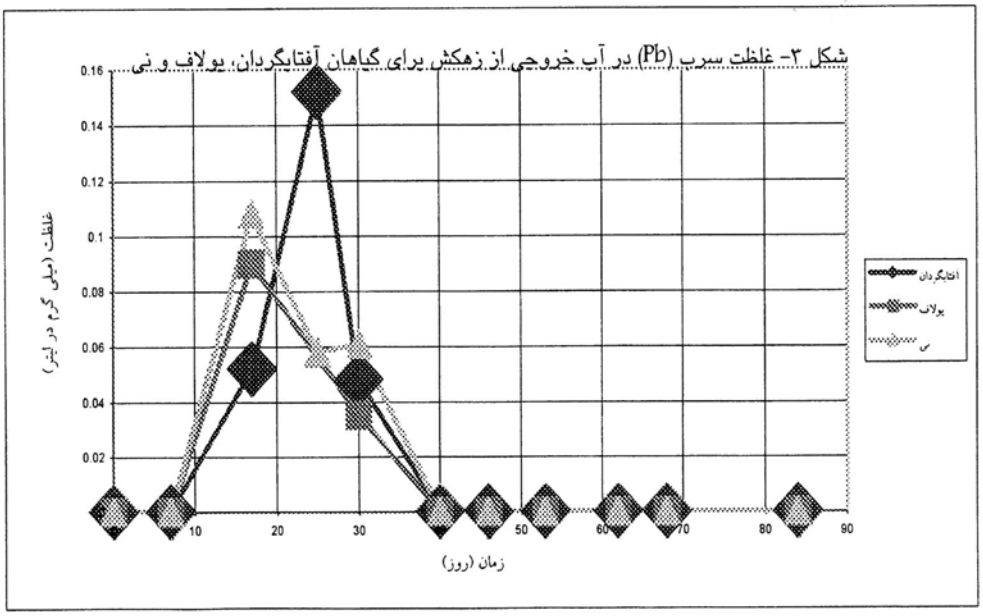
همانگونه که ذکر شد به منظور بررسی امکان استفاده از زه‌آب تصفیه شده جهت آبیاری مزارع به شیوه‌های متداول و نیز بررسی عملکرد سیستم خاک و گیاه در پالایش پساب‌های آلوده به فلزات سنگین، نمونه‌های آب از زهکش لیسیمترها تهیه گردید، که نتایج آنالیز آنها در شکل‌های (۱)، (۲) و (۳) ارائه شده است. لازم به یادآوری است که غلظت پساب آلوده ۲٥mg/l برای روی، ۱mg/l برای مس و ۲mg/l برای سرب، بوده است.

شکل (۱) غلظت روی را در آب خروجی از زهکش برای سه نوع گیاه آفتابگردان، یولاف و نی نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشخص است غلظت روی در طول دوره آزمایش زیر مقدار مجاز ارائه شده در استاندارد (۲/۰mg/l) می‌باشد [٤، ٥]. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود غظت روی در زه‌آب خروجی از کلیه لیسیمترها روندی افزایشی را تا روز ٦۳ام نشان می‌دهد و بعد از آن با توقف مصرف آب

آلوده و استفاده از آب چاه از روندی کاهشی برخوردار بوده است. با توجه به کل نمودار و روند تغییرات غلظت روی در زه‌آب تصفیه شده درجه تأثیر پالایندگی گیاهان به ترتیب اهمیت، آفتابگردان، یولاف و نی می‌باشد. علت آن جذب بیشتر روی توسط گیاه آفتابگردان می‌باشد که نتایج آنالیز نمونه‌های گیاهی نیز گواهی بر این امر می‌باشند. لازم به یادآوری است که غلظت روی در پساب مصرفی در این آزمایش حدوداً دو برابر غلظت یافت شده در پساب‌های جاری بوده است، بنابراین در صورت استفاده از پساب‌های جاری نتایج بسیار مطلوبتری حاصل خواهد شد.







شکل (۲) غلظت مس را در آب خروجی از زهکش برای سه گیاه آفتابگردان، یولاف و نی نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشخص است غلظت مس در تمام موارد زیر مقدار مجاز ارائه شده در استاندارد (۰/۲mg/l) می‌باشد [٤، ٥]. در این شکل با وجود تفاوتهایی که در روند افزایش تدریجی غلظت مس در ابتدای دوره پالایش برای گیاهان آفتابگردان، یولاف و نی مشاهده می‌شود این روند به نتیجه یکسانی انجامیده و در نهایت غلظت مس در زه‌آب تصفیه شده به صفر رسیده است. علت افزایش غلظت مس در پنج مرحله اول نمونه‌گیری می‌تواند به یک یا چند مورد زیر مربوط باشد: ۱) حرکت سریع آب در خاک در ابتدای دوره آزمایش زیرا که از خاک دست خورده استفاده شده و نشست کامل صورت نگرفته بود. ۲) حرکت ترجیحی سرب به همراه آب که از فاصله بین خاک و دیواره لیسیمتر در بخشهای بالا ممکن است، صورت گرفته باشد. ۳) عدم تثبیت خاک و ریشه به دلیل عدم استقرار کامل گیاهان کشت شده که این امر علاوه بر افزایش توان جذب گیاه در تثبیت خاک نیز بسیار مؤثر می‌باشد.

شکل (۳) غلظت سرب را در آب خروجی از زهکش برای سه نوع گیاه آفتابگردان، یولاف و نی نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشخص است غلظت سرب در تمام موارد زیر مقدار مجاز ارائه شده در استاندارد (٥/۰mg/l) می‌باشد [٤، ٥]. در این شکل نیز مانند شکل (۲) با وجود تفاوتهایی که در روند افزایش تدریجی غلظت سرب در ابتدای دوره پالایش برای گیاهان آفتابگردان، یولاف و نی مشاهده می‌شود این روند به نتیجه یکسانی انجامیده و در نهایت غلظت مس در زه‌آب تصفیه شده به صفر رسیده است. که دلیل آن همان موارد ذکر شده در بالا می‌باشد.

بنابراین با توجه به میزان غلظت فلزات مورد مطالعه در زه‌آب پالایش شده که در کلیه موارد زیر حد استاندارد می‌باشد، می‌توان از چنین سیستم مدیریتی جهت استفاده از پساب‌های آلوده به فلزات سنگین بدون هرگونه نگرانی در مورد خطرات ناشی از غلظت بالای فلزات در پساب‌ها، استفاده نمود.

به منظور تعیین بیلان جرمی فلزات سنگین در سیستم آب، خاک و گیاه حجم آب داده شده و خروجی از زهکشها اندازه‌گیری شد. میزان عنصر وارد شده و خارج شده از خاک از رابطه زیر تعیین گردید،

$$M = V \times C$$

که در این رابطه، M : میزان فلز وارد شده یا خارج شده

V : حجم آب داده شده یا خارج شده از لیسیمتر

C : متوسط غلظت عنصر داده شده یا خروجی از لیسیمتر، می‌باشد.

نتایج محاسبات بالا در قالب جدول ۳ ارائه شده‌اند. همانگونه که در این جدول مشاهده می‌شود، هر سه سیستم ایجاد شده (خاک به همراه گیاه مورد نظر) قادر به جذب بیش از ٪۹۸/۵ فلزات موجود در پساب آلوده بوده اند. همچنین غلظت فلزات در زهاب خروجی از لیسیمترها در تمامی طول دوره آزمایش از حد استاندارد تجاوز ننموده است. بنابراین اگر در هر مزرعه با خاک لومی سطحی برای این سیستم اختصاص داده شود با احتساب یک متر در روز به عنوان هدایت هیدرولیکی خاک، امکان استحصال روزانه ۱۰۰۰۰ مترمکعب پساب تصفیه شده وجود دارد. که اگر تبخیر متوسط روزانه را حدود ۷ میلیمتر در نظر بگیریم، می‌توان حدوداً ۱۵۰ هکتار زمین زراعی را با آب تصفیه شده آبیاری نمود. در نتیجه کمتر از یک درصد (٪۰,۷) سطح مزرعه برای این سیستم کافی است.

جدول ۳- تعیین بیلان جرمی و عملکرد سیستم (mg)

	آفتابگردان			یولاف			نی		
	M ورودی	M خروجی	درصد عملکرد سیستم	M ورودی	M خروجی	درصد عملکرد سیستم	M ورودی	M خروجی	درصد عملکرد سیستم
مس	480.00	1.23	99.74	480.00	0.94	99.80	480.00	1.09	99.77
روی	12009.02	40.83	99.66	12009.02	48.06	99.60	12009.02	160.84	98.66
سرب	960.00	2.26	99.76	960.00	5.15	99.46	960.00	5.25	99.45

به منظور تعیین درصد جذب گیاهان مختلف برای عناصر مورد مطالعه و تعیین بیلان جرمی در سیستم خاک، آب و گیاه، نمونه‌های گیاهی تهیه و آنالیز گردید، که نتایج آن در جداول ٤ و ٥ ارائه شده است.

جدول ٤- میزان جذب فلزات توسط گیاهان (mg/Kg dry mater)

اندام گیاه	سرب	روی	مس
آفتابگردان			
تخم	۱۷/۳	۸۲/۲	٤٤
برگ	۳/۲	۱۰۱	٥٤
ساقه	۰/۰۰۱	۹۲/٥	۳۳
ریشه	۸/٥	۱٥۰	۷٦
یولاف			
اندام هوایی	۰/۰۰۱	۲٥	۲۹
ریشه	۱۸/٤	۳۷۸	٥٥
نی			
اندام هوایی	۰/٥	۷٥	۳۷
ریشه	۳/٦	۱٤۷	۳۹

جدول ٤ میزان جذب را بر حسب میلی گرم به ازای هر کیلوگرم ماده خشک نشان می‌دهد. به منظور بررسی امکان استفاده از گیاهان مورد مطالعه برای مصارف صنعتی و علوفه‌ای، مقادیر جدول ٤ با حد مجاز فلزات برای مصارف فوق مقایسه گردید. با توجه به حد استاندارد روی که برای مصرف علوفه ۱۰۰۰ میلی گرم در هر کیلوگرم ماده خشک ارائه شده [٦]، و با توجه به مقادیر جدول ٤ می‌توان از گیاهان نی و یولاف به عنوان علوفه استفاده نمود. حد مجاز مس برای علوفه گوسفند ۱٥ و برای بز ٦۰ میلی گرم در هر کیلو گرم ماده خشک می‌باشد [٦]. بنابراین طبق مقادیر جدول ٤ نمی‌توان از گیاهان یولاف و نی برای تغذیه گوسفند استفاده نمود؛ اما امکان استفاده از آنها برای تغذیه بز وجود دارد. حد مجاز سرب ٥ میلی گرم به ازای هر کیلوگرم وزن حیوان گزارش شده است [٦]. بنابراین می‌توان از اندام هوایی گیاهان یولاف و نی برای تغذیه دام استفاده نمود.

همانگونه که در جدول ٥ مشاهده می‌شود گیاه آفتابگردان درصد بیشتری از فلزات روی، مس و سرب را در مقایسه با دو گیاه دیگر جذب نموده است که می‌تواند به دلیل جذب بیشتر آب توسط این گیاه پهن برگ نسبت به دو گیاه دیگر باشد. پس از آفتابگردان، نی درصد بیشتری از فلزات را در مقایسه با یولاف جذب نموده است، به استثناء سرب که جذب آن توسط یولاف و نی تقریبا برابر بوده است. علت جذب بیشتر فلزات توسط گیاه نی نسبت به گیاه یولاف را می‌توان در حجم بسیار زیاد ریزومهای نی و نفوذ آنها به اعماق لیسیمترها، جستجو کرد.

جدول ۵- بیلان جرمی در سیستم خاک، آب و گیاه (mg) – درصد جذب گیاه

9=(7/8)*100	8= 5 -(6+7)	7	6	5 = 3 + 4	4	3	2	1
درصد جذب گیاه	جرم نهایی فلز موجود در خاک	فلز جذب شده توسط گیاه	فلز خارج شده توسط زهاب	حرم کلی فلز آلاینده	فلز داده شده در طول دوره	فلز موجود در خاک اولیه	گیاه	فلز
0.714	11955.997	85.318	40.834	12082.149	12009.024	73.125	آفتابگردان	Zn
0.257	12003.299	30.795	48.055	12082.149	12009.024	73.125	یولاف	
0.456	11867.154	54.156	160.839	12082.149	12009.024	73.125	نی	
4.198	849.678	35.672	1.225	886.575	480.000	406.575	آفتابگردان	Cu
1.234	874.841	10.796	0.938	886.575	480.000	406.575	یولاف	
2.123	867.086	18.404	1.085	886.575	480.000	406.575	نی	
0.154	1809.049	2.787	2.264	1814.100	960.000	854.100	آفتابگردان	Pb
0.066	1807.759	1.196	5.145	1814.100	960.000	854.100	یولاف	
0.056	1807.839	1.011	5.250	1814.100	960.000	854.100	نی	

با آنالیز و برآورد میزان غلظت فلزات سنگین در خاک لیسیمترها، تعیین درجه آلودگی این خاک و بررسی امکان ادامه کشاورزی در این خاک‌ها با توجه به حدود مجاز غلظت عناصر سنگین در خاک‌های کشاورزی ضروری می‌باشد که بدین منظور از حدود مجاز پیج ۱۹۸۲ و ویلیامز ۱۹۹۲ برای تعیین میزان آلودگی خاک‌های مورد مطالعه استفاده شده است [۲]. همانگونه که در جدول ٦ مشاهده می‌شود غلظت فلزات روی و مس در تمامی موارد از حد مجاز زیاد تجاوز نموده است ولی غلظت فلز سرب زیر حد مجاز زیاد می‌باشد. بنابراین با توجه به آلودگی خاک درون لیسیمترها به فلزات روی و مس ادامه آبیاری با آب معمولی تا کاهش غلظت این فلزات به زیر حد مجاز برای خاک‌های کشاورزی ضروری می‌باشد.

با توجه به مجموع نتایج فوق می‌توان از شیوه مدیریت ارائه شده در این پژوهش به عنوان راه حلی نسبتاً موفق، ارازن قیمت و مناسب در بسیاری از نقاط کشور استفاده نمود. همانگونه که ذکر شد این پژوهش تا کاهش غلظت فلزات سنگین به زیر حدود مجاز و بررسی میزان نهایی فلزات جذب شده توسط گیاهان در فصل بعدی زراعی، ادامه خواهد داشت. البته این پژوهش بخشی از تحقیق جامعی است که به منظور بررسی گیاهان بومی منطقه و مشاهده عملکرد آنها در شرایط مدیریتی فوق، در دست اجرا می‌باشد.

جدول ٦- حد مجاز فلزات سنگین در خاک و میزان آلودگی خاک‌های موجود در لیسیمترها (میلی گرم در هر کیلو گرم خاک)

جرم نهایی فلز موجود در خاک	و ویلیامز	حدود پیج	گیاه	فلز
	زیاد	کم		
40.875	1	0.5	آفتابگردان	Zn
41.037	1	0.5	یولاف	
40.571	1	0.5	نی	
2.905	0.8	0.2	آفتابگردان	Cu
2.991	0.8	0.2	یولاف	
2.964	0.8	0.2	نی	
6.185	15	1	آفتابگردان	Pb
6.180	15	1	یولاف	
6.181	15	1	نی	

منابع:

۱- غازان شاهی، جواد، ۱۳۷٦. آنالیز خاک و گیاه

۲- ملکوتی، ، مهدی همایی، ، حاصلخیزی خاک‌های مناطق خشک، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس

3- Cunnigham, S.D. and C.R. Lee,1995, Phytoremediation: Plant-Based Remediation of Contaminated soils and sediments/ SSSA(Soil Science Society of America) special publication,43.

4- National Academy of Sciences and National Acadamy of Engineering, 1972, Water quality criteria US Enviromental protection Agency, Washington DC, EPA-R373-033.592p www.EPA.gov/eq/

5- Pescod, M.B. 1992, Wastewater treatment and use in agriculture, FAO IRRIGATION AND DRAINAG PAPER, 47.

6- Underwood, E.J. and N.F. Suttle, 1999. The mineral nutrition of livestock (3rd edition), CAB international.

7- www.siep.shell.com/hes/sd/sd.htm

Management of using industrial waste water in agriculture

Arash Zamyadi
Liaghat
Gh. Savaghebi
Alireza Hassanoghli

Abstract

Increasing growth of population, demand for water and food, limitation of water resources and the recent droughts has made the planners and specialists to use salt and sewage waters. Some of the researchers also suggest to apply sewage in agriculture as a solution for discharging sewage in environment . Using sewage in agriculture can have the following advantages:
1. It is a suitable substitution for waters with good quality in agriculture.
2. Nutrients in sewage can decrease fertilizer, requirements.
3. In some great and industrial cities, industrial sewage has been identified as a cheap and certain resource.
Using such sewage in agriculture is not as simple as ordinary waters because of existance of some heavy elements and its very destructive effects on environment and requires some managerial plans.
The main purpose of this research was to investigate the effect of soil and plant as a biological filter for trapping heavy metals from industrial wastewater. A small part of a farm which is equipped with subsurface drainage pipes can be used for this purpose. The soil profile adsorb heavy metals from contaminated sewage and the plants absorb them from the soil. The drainage waters effluent from such system are less contaminated and can be used for irrigation. This study was carried out in 9 large lysimeters(60 Cm in diameter and 100 Cm in length), which have been filled with sandy loam soil. These lysimeters were irrigated first by well water until the plants were established and then by industrial sewage consist of 2mg/l lead, 1mg/l copper and 25 mg/l zinc. Three kind of plants such as sunflower as an industrial consumption, oat(Avena sativa) and reat(Arundo denax) as hay consumption were used in this system. Water samples were collected from applied and drainage waters and analyzed for mass balance analysis. During the experiment, the concentration level of heavy metals in drainage waters were less than the acceptable levels for agriculture purposes. This indicates a high performance of such system (98.5%) for trapping heavy metals. At the end of experiment, samples were collected from different part of plants (roots and forages) and analyzed in order to determine the plant performances. The results of this study showed higher absorption of zinc by plants compare to lead and copper. Because, the total mass of zinc in the soil was higher than the lead and copper. The absorption ratio of metals by plants was ranged from 0.06% to 4.03% which indicates system refinery by the plants.