

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

دستنامه فنی

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به
زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری
در کلان‌شهرها

نگارندگان:

آزاده صالحی، سارا تیموری و عادل جلیلی

اعضای هیئت علمی مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور

۱۴۰۳

ISBN : 978-964-473-587-5



9 789644 735875

کد مصوب	عنوان طرح‌های منتج به دستنامه فنی
۲-۰۹-۰۹-۹۵۱۱۵	بررسی عملکرد تولید چوب و پتانسیل گیاه پالایی درختان صنوبر (<i>Populus nigra</i>) آبیاری شده با فاضلاب شهری در جنوب تهران (مجری: آزاده صالحی)
۴-۰۹-۰۹-۰۰۱-۹۶۰۰۱۰	بررسی ویژگی‌های رویشی و جذب فلزات سنگین برخی ارقام صنوبر و بید در دو محیط کشت هیدروپونیک و خاک متأثر از آب‌های نامتعارف (مجری: آزاده صالحی)
۴-۰۹-۰۹-۱۱۷-۰۰۱۲۰۲	تأثیر کاربرد همزمان پساب و لجن فاضلاب بر کشت دو گونه صنوبر (۴ کلن) در سایت تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران (مجری: آزاده صالحی)
۲۴-۰۹-۰۹-۰۶۵-۹۷۰۶۲۸	ارزیابی توان توسعه زراعت چوب در اراضی تحت آبیاری با آب نامتعارف در جنوب تهران با رویکرد تبدیل الگوی کاشت (مجری: عادل جلیلی)
۰-۰۹-۰۹-۰۱۹-۹۸۰۴۰۵	تعیین اراضی مستعد زراعت چوب در حاشیه کلان‌شهرها با استفاده از آب‌های نامتعارف (مجری: سارا تیموری)



عنوان دستنامه: راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

نگارندگان:

آزاده صالحی - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

سارا تیموری - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

عادل جلیلی - استادیار پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: اصغر احمدی

صفحه‌آرا: مریم نوبخت

تهیه شده در: مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اداره ترویج و انتقال یافته‌های تحقیقاتی، بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد

نشانی: بزرگراه تهران-کرج، خروجی پیکانشهر، شهرک سرو آزاد، خیابان شهید گودرزی، بلوار باغ گیاه‌شناسی ملی ایران، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور.

سندوق پستی: ۱۱۶-۱۳۱۸۵. **تلفن:** ۵-۴۴۷۸۷۲۸۲-۰۲۱ **وبسایت:** www.rifr-ac.ir

شمارگان: الکترونیکی

سال انتشار: ۱۴۰۳

این دستنامه به شماره ۶۶۸۶۳ در تاریخ ۱۴۰۳/۱۲/۰۱ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است

➤ مخاطبان دستنامه:

- مروجان و کارشناسان مراکز آموزشی، پژوهشی و اجرایی وابسته به وزارت جهاد کشاورزی، مدیران و سیاست‌گذاران

➤ اهداف آموزشی:

- توسعه و ترویج زراعت چوب در اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده
-
-

فهرست

۱.....	مقدمه
۳.....	بحران منابع آبی در کشور و عوامل ایجادکننده آن
۴.....	مدیریت و استفاده از فاضلاب و پساب‌های شهری
۹.....	منابع تولیدکننده فاضلاب و پساب کلان‌شهرها
۱۰.....	استفاده از فاضلاب یا پساب در اراضی کشاورزی
۱۳.....	توسعه زراعت چوب راهبرد محوری در تأمین مواد سلولزی
۱۵.....	زراعت چوب با فاضلاب و پساب‌های شهری
	راهنمای گام‌به‌گام تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در
۱۸.....	اراضی متأثر از آب‌های آلوده با ذکر نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه
۱۸.....	تعیین مساحت و مکان‌یابی اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده
۱۸.....	بررسی کمیت و کیفیت فاضلاب و پساب‌های تولیدی کلان‌شهرها و موارد تخصیص آنها
۲۷.....	ظرفیت‌سنجی و مکان‌یابی اراضی مستعد زراعت چوب با فاضلاب و پساب
	تعیین گونه‌های تندرشد مناسب توسعه زراعت چوب با فاضلاب و پساب متناسب با
۳۰.....	شرایط اقلیمی منطقه و تعیین نیاز آبی آنها
۳۵.....	ارتباط با بخش‌های دولتی مرتبط و تأثیرگذار
۳۶.....	جلب مشارکت‌های مردمی و حمایت کشاورزان با اقتصادی کردن این موضوع
۳۷.....	ایجاد مزارع نمایشی زراعت چوب در اراضی کشاورزی
	همسویی و همکاری سازمان‌های دولتی، پژوهشی، اجرایی و صنعتی برای توسعه و
۴۲.....	ترویج تغییر الگوی کشت در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده
۴۳.....	نتیجه‌گیری
۴۵.....	منابع

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۱ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

مقدمه

زراعت چوب یکی از مهمترین منابع تأمین نیاز چوبی کشور است که توسعه آن مانند هر فعالیت زراعی دیگر نیاز به منابع آبی دارد. نظر به توزیع نامتعادل بارندگی، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و گسترش خشکی در کشور، استفاده از منابع آب جایگزین برای توسعه زراعت چوب ضروریست.

در ایران روزانه هزاران لیتر فاضلاب و پساب تولید می‌شود که با مدیریت مناسب می‌تواند در موارد مجاز محیط‌زیستی مانند فضای سبز، جنگلکاری و زراعت چوب استفاده شود. همچنین، با توجه به غنی بودن فاضلاب و پساب‌های شهری از مواد آلی و عناصر غذایی، استفاده از آنها به‌عنوان آب آبیاری با توجه به خاصیت کودی، می‌تواند به افزایش رشد و تولید زی‌توده گیاهی منتج شود. از سوی دیگر، در صورت وجود آلاینده‌ها به‌ویژه آلاینده‌های فلزی در فاضلاب و پساب شهری، جذب آلاینده‌ها از خاک توسط سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته حاصل از درختکاری، می‌تواند نقش مهمی در گیاه‌پالایی خاک و حفاظت از محیط‌زیست ایفا نماید (Justin و Zupanc، ۲۰۱۰؛ Nissim و همکاران، ۲۰۱۵؛ صالحی، ۱۳۹۸).

بنابراین، ضروریست که سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های لازم برای مدیریت و استفاده مناسب از فاضلاب و پساب‌های شهری به‌عنوان یک منبع آبی مطمئن انجام شود.

در دهه‌های اخیر با توجه به کمبود منابع آبی، بخشی از اراضی کشاورزی حاشیه کلان‌شهرها با استفاده از آب‌های آلوده آبیاری شده است. به‌طوری‌که یکی از منابع مهم آلودگی خاک اراضی کشاورزی حاشیه کلان‌شهرها، استفاده از فاضلاب‌ها و پساب‌های شهری به‌منظور آب آبیاری بیان شده است.

۲ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

آبیاری طولانی‌مدت اراضی کشاورزی با آب آلوده، آلودگی خاک با عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین، کاهش کیفیت خاک و انتقال آلاینده‌ها به زنجیره غذایی موجودات زنده را به دنبال خواهد داشت، که این موضوع در طولانی‌مدت آثار مخرب و جبران‌ناپذیر بهداشتی و محیط‌زیستی را به همراه خواهد داشت (صالحی، ۱۳۹۹b).

بنابراین ضرورت دارد سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های مدون و علمی در راستای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی کشاورزی متأثر از آبیاری با فاضلاب و پساب‌های شهری در طی چندین سال به صورت متناوب و پیوسته با پشتیبانی و حمایت نهادهای دولتی، پژوهشی، اجرایی و مردمی انجام شود.

اطلاعات، راهکارها و تحلیل‌های ارائه‌شده در این نوشتار، حاصل نتایج پنج پروژه و طرح ملی اجراشده در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور در طول یک دهه گذشته است. امید است که این نوشتار بتواند راهنمای مفیدی در راستای کاهش سطح اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده و جایگزینی آنها با زراعت چوب باشد.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۳
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

بحران منابع آبی در کشور و عوامل ایجادکننده آن

در هر کشوری منابع آبی جزء سرمایه‌های ملی و ارزشمندترین منابع طبیعی محسوب می‌شوند و نقش مهمی در توسعه پایدار آن کشور دارند. بنابراین حفاظت، مدیریت و استفاده مطلوب از آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تنش آبی موضوعی است که در بسیاری از کشورها مطرح است و میلیاردها انسان در کشورهایی زندگی می‌کنند که دچار کم‌آبی هستند. در ایران نیز بحران منابع آبی یکی از بزرگترین مشکلاتی است که در سال‌های اخیر تمام جوانب زندگی را تحت تأثیر قرار داده است. دلایل زیادی برای این پدیده وجود دارد که برخی به دلیل شرایط آب‌وهوایی و برخی به دلیل سوء مدیریت ایجاد شده‌اند. به‌طور کلی، ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی یکی از مناطق کم‌باران جهان و جزء کشورهای خشک و نیمه‌خشک است و متوسط بارندگی آن به حدود یک‌سوم متوسط آن در جهان می‌رسد که مناطق مختلف آن به دلیل موقعیت جغرافیایی خاص خود دارای ویژگی‌های بارشی متفاوتی می‌باشند. به‌طوری‌که هر چه از مناطق شمالی و غربی کشور به طرف مناطق جنوبی و شرقی پیش می‌رویم، از میزان بارش کاسته می‌شود (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۳).

بنابراین تنش در منابع آبی در اغلب مناطق کشور مشهود است. علاوه بر این، در دهه‌های اخیر با توجه به کاهش شدید بارندگی‌های سالیانه، در اغلب مناطق کشور با مشکل خشکسالی مواجه بوده‌ایم. از سوی دیگر، بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی که منبع اصلی تأمین‌کننده آب در مناطق خشک است، موجب شده است که سفره‌های آب زیرزمینی با افت کمی و کیفی شدید روبه‌رو شوند. رشد جمعیت و افزایش مصرف آب نیز از دیگر مواردی است که باعث تشدید بحران آب در ایران شده است.

۴ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

موضوع مهم دیگر مرتبط با بحران منابع آبی، عدم رعایت استانداردها در بخش‌های کشاورزی، صنعتی و حتی زندگی شهری است. در حال حاضر ۶۹ درصد از مصرف آب دنیا مربوط به بخش کشاورزی است، البته در برخی کشورهای در حال توسعه این میزان بیشتر نیز می‌باشد. برداشت آب در این بخش عمدتاً به آبیاری اختصاص داده می‌شود، اما برای دامداری و پرورش آبزیان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۱۹ درصد از مصرف آب نیز به بخش صنعت اختصاص داده می‌شود و ۱۲ درصد باقی‌مانده به مصارف خانگی و شهری می‌رسد. همچنین، استفاده از روش‌های آبیاری غرقابی و نهری و نیز آبیاری فضای سبز شهری و شستشوی معابر با آب آشامیدنی، بحران آب در ایران را جدی‌تر کرده است. در صنایع و معادن نیز آب زیادی مصرف و آلوده می‌شود و در نهایت به‌عنوان آب غیرقابل استفاده از چرخه خارج می‌شود. زمانی که فاضلاب‌های صنعتی بدون اینکه تحت عملیات تصفیه مناسب قرار گیرند، در طبیعت رها شوند عواقب مخرب و غیرقابل جبرانی به محیط‌زیست وارد می‌شود (سهرابی، ۱۴۰۱). همانطور که ذکر شد، برخی از دلایل که منجر به بحران آب در ایران شده‌اند مانند شرایط آب‌وهوایی و خشکسالی غیرقابل کنترل هستند، اما در مقابل، برخی موارد دیگر را می‌توان با مدیریت صحیح و استفاده از فناوری و استانداردهاسازی‌ها تا حد زیادی برطرف کرد.

مدیریت و استفاده از فاضلاب و پساب‌های شهری

علاوه بر کمبود و بحران منابع آبی، مسئله قابل توجه دیگر آلودگی منابع آبی موجود است. اگرچه آلودگی منابع آبی منشأ طبیعی و انسانی دارد، اما آلودگی ایجادشده توسط فعالیت‌های انسان که انواع مختلفی از آب‌های آلوده و نامتعارف را تولید می‌کنند، اغلب شایع‌تر و گسترده‌تر هستند. بشر از زمان سکونت اولیه خود همواره چرخه آب‌شناسی زمین را با استفاده از منابع آبی و تبدیل آن به انواع مختلف فاضلاب، تغییر داده است.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۵ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

در طول سال‌های متمادی، سرانه مصرف آب به‌طور چشمگیری افزایش یافته که موجب کاهش میزان منابع آب شیرین و افزایش تولید آب‌های نامتعارف شده است. به‌طوری‌که با افزایش صنعتی‌شدن و شهرنشینی، حجم انبوهی از فاضلاب‌ها و پساب‌ها تولید می‌شود که دفع ایمن و استفاده مناسب از آنها یکی از نگرانی‌های محیط زیستی در سرتاسر جهان است.

درواقع، از آنجایی‌که بیشتر فعالیت‌های با آب، منجر به تولید فاضلاب می‌شود، بنابراین منابع آب بالقوه‌ای وجود دارد که به‌طور پیوسته بر حجم آنها اضافه می‌گردد. به‌طور کلی، فاضلاب آب مصرف‌شده و زایدی است که با توجه به منبع تولیدی آن دارای ترکیبات متغیری می‌باشد. عوامل عمده فاضلاب علاوه بر آب، شامل مواد جامد (محلول و معلق)، مواد آلی (کربوهیدرات‌ها، چربی‌ها و پروتئین‌ها)، عناصر غذایی، فلزات سنگین، نمک‌ها و عوامل بیماری‌زا است. بوی بد فاضلاب‌ها نیز اغلب به‌دلیل مواد آلی موجود در آن است.

از نظر منبع تولید، فاضلاب‌ها را می‌توان به چهار گروه خانگی، شهری، کشاورزی و صنعتی تقسیم کرد که ترکیبات تشکیل‌دهنده آن در این چهار گروه متفاوت است. به‌طوری‌که فاضلاب‌های شهری بیشتر ممکن است شامل مواد شوینده و عوامل بیماری‌زا باشند، در حالی‌که فاضلاب‌های صنعتی اغلب حاوی آلاینده‌های صنعتی مانند فلزات سنگین هستند. فاضلاب‌های تولیدی در تقسیم‌بندی دیگر به فاضلاب خام و تصفیه‌شده دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۱).

با توجه به اینکه فاضلاب‌های تولیدی اغلب حاوی انواع آلودگی‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی هستند، استفاده از آنها به‌صورت مستقیم و تصفیه‌نشده باید با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی انجام شود. زمانی‌که فاضلاب تولیدی در معرض انواع تصفیه‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی قرار می‌گیرد، اصطلاحاً به آن پساب گفته می‌شود.

۶ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

بنابراین پساب، همان فاضلاب تصفیه‌شده خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب است (صالحی، ۱۴۰۰). با توجه به وجود انواع آلودگی‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی در فاضلاب‌های تولیدی، تخلیه مستقیم آنها به محیط‌زیست به‌ویژه به آب‌های طبیعی از قبیل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دریاها می‌تواند باعث تخریب جدی و شدید کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی شود. وقتی بر اثر نفوذ آب آلوده، منابع آب، خاک و هوا آلوده شوند، گیاهان، موجودات آبی، حیوانات و انسان هم از این آلودگی خسارت می‌بینند و به اشکال مختلف در معرض خطر قرار می‌گیرند.

درمقابل، با فرایند تصفیه، فاضلاب تولیدی به پسابی با بار آلودگی کمتر و موارد مصرف بیشتر و ایمن‌تر تبدیل خواهد شد. با توجه به اینکه بخش اعظم فاضلاب را آب تشکیل می‌دهد، استفاده از آنها برای اهدافی از قبیل آبیاری می‌تواند مقدار آب بهره‌برداری شده از منابع آب شیرین را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش دهد. از این‌رو اهمیت جمع‌آوری، مدیریت، تصفیه و دفع مناسب فاضلاب‌های تولیدی روشن و این موضوع باید در اولویت‌های خدمات شهری و صنعتی قرار گیرد (صالحی، ۱۳۸۶).

براساس اسناد تاریخی معتبر، ساکنان کره زمین از دیرباز کانال‌های جمع‌آوری و دفع فاضلاب داشته‌اند که بقایای آنها در آثار تخت جمشید و بناهای یونان و رم باستان دیده می‌شود. مطالعه و بررسی اسناد و شواهد تاریخی نیز نشان می‌دهد که استفاده دوباره از فاضلاب‌های تولیدی از قدمت ۵۰۰۰ ساله برخوردار است. به‌طوری‌که آثار سیستم جمع‌آوری فاضلاب در کاخ‌های قدیمی در چین و هدایت پساب‌ها به حومه شهر و مزارع، این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد (Spyridakis & Angelakis, 1996).

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۷
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۱. فاضلاب خام (بالا)، پساب (پایین)

۸ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

از اواخر قرن بیستم، استفاده دوباره از آب‌های نامتعارف به‌عنوان گزینه‌ای در جهت حفاظت و توسعه منابع آبی رسماً تأیید و توسط تمام ایالات آمریکا و اتحادیه اروپا قانونی شد. انتشار رهنمودهای استفاده از آب‌های نامتعارف به‌ویژه از دیدگاه بهداشتی، توسط سازمان بهداشت جهانی (WHO) در سال ۱۹۸۹ و آژانس حفاظت محیط‌زیست (EPA) و دفتر توسعه بین‌المللی آمریکا در سال ۱۹۹۲ از اقداماتی است که در سطح بین‌المللی انجام شده است.

درواقع، بازیافت و استفاده دوباره از فاضلاب و پساب‌های تولیدی به‌عنوان آب آبیاری به‌عنوان یکی از راهکارها و فرصت‌های کلیدی برای دفع ایمن و مناسب، کاهش فشار بر منابع آب شیرین و مقابله با بحران منابع آبی مطرح می‌باشد (Toze, ۲۰۰۶؛ Houda و همکاران، ۲۰۱۶). از سوی دیگر، اغلب فاضلاب و پساب‌های تولیدی به‌ویژه با منشأ خانگی و شهری غیر از تأمین آب و صرفه‌جویی در منابع آبی، به‌دلیل غنی بودن از مواد غذایی به‌عنوان یک منبع کودی نیز به حساب می‌آیند (Rattan و همکاران، ۲۰۰۵؛ Sharma و همکاران، ۲۰۰۷). اما نباید این واقعیت را نادیده گرفت که آب‌های نامتعارف به‌دلیل داشتن غلظت‌های بالای عناصر غذایی و فلزات سنگین و نیز بار میکروبی می‌توانند تعادل زیستی در بوم‌سازگان‌ها را تحت تأثیر قرار دهند (صالحی، ۱۳۹۹).

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۹
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

منابع تولیدکننده فاضلاب و پساب کلان‌شهرها

جمعیت رو به رشد کلان‌شهرها و استفاده‌های متعدد از منابع آبی سبب تولید حجم قابل توجه فاضلاب و پساب در کلان‌شهرها می‌شود. رواناب‌های سطحی منبع تولید فاضلاب خام شهری و خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منبع تولید پساب تصفیه‌شده شهری می‌باشند. زه‌آب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های صنعتی نیز از منابع تولیدکننده دیگر آب‌های نامتعارف کلان‌شهرها هستند. معمولاً فاضلاب‌ها و پساب‌های تولیدی کلان‌شهرها با ریخته‌شدن به رودخانه‌های اصلی و فرعی و کانال‌های آبیاری، به‌طور وسیع در اراضی کشاورزی استفاده می‌شوند. به‌عنوان نمونه، رواناب‌های سطحی شهر تهران که از مناطق شمالی تهران سرچشمه می‌گیرند، ترکیبی از آوردهای کوهستانی و شهری بوده که پس از عبور از مناطق شهری و اضافه شدن بخشی از فاضلاب‌های مسکونی، بیمارستانی و حتی صنعتی به رودخانه‌های سرخه‌حصار، کن و فیروزآباد می‌ریزند.

در حال حاضر، مجموع کل رواناب‌های سطحی شهر تهران ۳۶۳ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است (حیدری، ۱۳۹۷). در نهایت این فاضلاب خام آلوده به اراضی جنوبی تهران می‌رسد و در مقیاس وسیع توسط کشاورزان برای آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب کلان‌شهرها نیز اغلب به‌عنوان منبع آب آبیاری در فضای سبز و کشاورزی استفاده می‌شود. به‌عنوان نمونه، کلان‌شهر تهران شش تصفیه‌خانه فاضلاب محلی و یک تصفیه‌خانه فاضلاب اصلی دارد که پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های محلی اغلب برای فضای سبز استفاده می‌شود. در مقابل، پساب تصفیه‌خانه فاضلاب اصلی شهر تهران (تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شهر تهران به‌عنوان بزرگترین تصفیه‌خانه فاضلاب خاورمیانه) که تقریباً معادل ۲۴۶ میلیون مترمکعب در سال است، اغلب در اراضی کشاورزی دشت ورامین استفاده می‌شود.

استفاده از فاضلاب یا پساب در اراضی کشاورزی

همانطور که ذکر شد فاضلاب‌های تولیدی می‌توانند حاوی انواع آلودگی‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی باشند، بنابراین استفاده از آنها برای آبیاری محدودیت‌هایی دارد. تأثیر عوامل بیماری‌زای میکروبی روی انسان، حیوان و محیط‌زیست در کوتاه‌مدت ایجاد می‌شود، اما تأثیر آلودگی‌های ایجاد شده در خاک در طولانی‌مدت و با استفاده مداوم بروز پیدا می‌کند. یکی از راهکارهای اصلی برای غلبه بر مشکلات مربوط به استفاده از فاضلاب برای آبیاری، تصفیه آن می‌باشد. به طوری که تصفیه فاضلاب می‌تواند عوامل میکروبی، غلظت زیاد عناصر غذایی آلی و غیرآلی و فلزات سنگین را کاهش دهد و بهینه کند.

بنابراین ضرورت دارد فاضلاب‌ها پیش از استفاده مورد کنترل، تصفیه و ارزیابی دقیق قرار گیرند. طی فرایندهای مختلف تصفیه، فاضلابی که حاوی انواع آلودگی‌ها است می‌تواند به پساب قابل استفاده در موارد مجاز محیط‌زیستی تبدیل شود. البته کیفیت پساب خروجی حاصل از فرایند تصفیه، نوع استفاده از آن را تعیین می‌کند. قطعاً اراضی کشاورزی، جنگل‌کاری‌ها و زراعت چوب می‌توانند از بزرگترین مصرف‌کننده‌های فاضلاب و پساب‌های تولیدی باشند. در همین راستا، لازم است در استفاده از فاضلاب و پساب به‌عنوان آب آبیاری نکات زیر مورد توجه قرار گیرد (صالحی، ۱۴۰۱).

- ✓ مناسب بودن کیفیت فاضلاب و پساب برای آبیاری مطابق با استانداردهای ملی و بین‌المللی
- ✓ انتخاب محصولات فاقد خطرات محیط‌زیستی، بهداشتی و سلامتی
- ✓ جلوگیری از ایجاد شرایط غیر بهداشتی و بوی بد
- ✓ ضرورت توجه به مسئله سلامتی کارگران و کشاورزانی که با این نوع آب‌ها سروکار دارند.
- ✓ ارزیابی و پایش متناوب فاضلاب و پساب، خاک و محصولات تحت آبیاری

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۱۱ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

✓ اتخاذ راهکارهای لازم برای کاهش ابتلا و انتقال انواع بیماری‌های میکروبی، انگلی و ویروسی به انسان و دیگر موجودات زنده

✓ رعایت حد فاصل ضروری بین اراضی متأثر از آبیاری با آب آلوده و مناطق مسکونی

✓ جلوگیری از ورود حیوانات اهلی به اراضی آبیاری‌شده با فاضلاب یا پساب

همانطور که ذکر شد اراضی کشاورزی یکی از بزرگترین مصرف‌کننده‌های فاضلاب یا پساب‌های تولیدی هستند. طبق آمار سال ۱۳۹۷ سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، ۷۰ هزار هکتار اراضی کشاورزی و صیفی در جنوب شهر تهران وجود دارد که حدود ۴۰ درصد از آنها با فاضلاب و پساب و ۶۰ درصد از آنها با آب چاه و زیرزمینی سالم آبیاری می‌شوند. در این بین، ۱۵ هزار هکتار از اراضی شهرستان ری، ۱۴ هزار هکتار از اراضی ورامین و یک هزار هکتار از اراضی قرچک متأثر از آبیاری با آب‌های آلوده هستند (بی‌نام، ۱۳۹۷).

متأسفانه به‌دلیل تمرکز بیشتر بر آلودگی هوا، به آلودگی خاک توجه چندانی نشده است. اما واقعیت این است که خاک بستر حیات است و نباید نگرانی‌های محیط‌زیستی تنها به آلودگی هوا محدود شود. منابع متعددی مانند صنایع آلاینده کوچک و بزرگ، پالایشگاه‌ها، مراکز دفن زباله و آبیاری با آب‌های آلوده در آلودگی خاک کلان‌شهرها نقش دارند. درواقع، یکی از عوامل مهم آلودگی خاک اراضی کشاورزی، استفاده از فاضلاب‌های خام آلوده به‌عنوان آب آبیاری است. به‌طوری‌که آبیاری اراضی کشاورزی با آب‌های آلوده، به‌دلیل آلودگی خاک با عوامل بیماری‌زا و فلزات سنگین قطعاً در طولانی‌مدت تبدیل به یک تهدید محیط‌زیستی خواهد شد. وجود آلاینده‌های زیانباری مانند فلزات سنگین در خاک می‌تواند با کاهش کیفیت خاک و انتقال آنها به زنجیره غذایی، در طولانی‌مدت آثار مخربی را به‌همراه داشته باشد. در سال‌های اخیر در مطالعات متعدد به موضوع آلودگی خاک اراضی کشاورزی اطراف کلان‌شهر تهران اشاره شده است.

۱۲ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

سهیلی (۱۳۷۳) در مطالعه خود نشان داد که با توجه به استفاده طولانی‌مدت از فاضلاب خام نهر فیروزآباد به منظور آبیاری اراضی کشاورزی جنوب تهران، میزان فلزات سنگین سرب، کادمیم، نیکل و سرب در خاک این اراضی بیشتر از حد استاندارد بوده است. مردانی و همکاران (۱۳۸۹) نیز با بررسی میزان آلودگی خاک‌های اراضی جنوبی تهران گزارش کردند که غلظت فلزات سنگین در بافت خاک از غرب به شرق و از شمال به جنوب محدوده مورد مطالعه روند افزایشی داشت، که روند تغییرات غلظت به‌ویژه در اراضی جنوبی که فاضلاب به میزان بیشتری برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود از شدت بیشتری برخوردار بود. بنابراین، در این مطالعه توصیه شد به منظور جلوگیری از افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک، در زمینه عدم استفاده از فاضلاب خام و تصفیه آن قبل از استفاده در اراضی کشاورزی اقدامات جدی انجام شود. یافته‌های حاصل از بررسی منابع و پیامدهای جریان پساب‌های شهری و صنعتی در روستاهای بخشی از حریم جنوبی تهران در مطالعه فصیحی (۱۳۹۳) نیز زایل شدن ظرفیت اکوتوریستی منطقه، آلودگی محصولات کشاورزی و دام و گسترش نی‌زارها در اثر جریان آب‌های آلوده در منطقه و استفاده از آنها برای آبیاری را نشان داده است.

در مطالعه دیگری، باقری و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از شاخص‌های آلودگی گزارش کردند ۸۶ درصد از نمونه‌های خاک مورد مطالعه در اراضی کشاورزی جنوب تهران از نظر شاخص‌های آلودگی، آلوده به فلز سنگین سرب بودند. همچنین، عباسی و همکاران (۱۳۹۷) با بررسی توزیع فلزات سنگین سرب، نیکل و سرب در خاک اراضی کشاورزی آبیاری شده با پساب در جنوب تهران با استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های زمین آماری، نشان دادند که بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به اراضی متأثر از آبیاری با فاضلاب خام بود. بررسی خاک اراضی تحت کشت صنوبر در جنوب تهران که سال‌های متمادی متأثر از آبیاری با فاضلاب خام بوده و

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۱۳ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

در آنها محصولات کشاورزی کشت شده است نیز نشان داد، با توجه به شاخص بار آلودگی، خاک‌های مورد بررسی در گروه خاک‌های آلوده بودند (صالحی، ۱۴۰۰).

بنابراین استفاده از فاضلاب خام برای آبیاری اراضی کشاورزی به هیچ‌وجه قابل توصیه نمی‌باشد. در مورد پساب خروجی تصفیه‌خانه‌ها، نظر به اینکه عملیات تصفیه قادر به از بین بردن کامل آلاینده‌های میکروبی، فیزیکی و شیمیایی نیست، باید از آبیاری سبزیجات، صیفی‌جات و محصولاتی که به‌طور مستقیم وارد چرخه غذایی انسان می‌شوند خودداری کرد و در مورد سایر محصولات کشاورزی، ارزیابی متناوب پساب مورد استفاده و رعایت استانداردهای محیط‌زیستی، بهداشتی و سلامتی مورد توجه قرار گیرد.

توسعه زراعت چوب راهبرد محوری در تأمین مواد سلولزی

بهره‌مندی از خدمات اکوسیستمی جنگل‌های طبیعی در مقایسه با برداشت چوب از آنها در اولویت قرار دارد و کاهش سطح جنگل‌های دنیا یک پدیده فوق‌العاده نگران‌کننده است. اگرچه سهم تخریب جنگل در اثر بهره‌برداری چوب در مقایسه با سایر عوامل تخریب حدود ۲۶ درصد است و عمده تخریب جنگل‌ها از طریق تبدیل اراضی جنگلی به زمین‌های کشاورزی، مسکونی، شهری، صنعتی و احداث جاده‌ها اتفاق می‌افتد، ولی اعتقاد بر این است که شروع بهره‌برداری چوب از جنگل به‌عنوان خاکریز اول تخریب آن محسوب می‌شود. حتی اگر مدیریت بهره‌برداری چوب از جنگل‌ها علمی و منطبق بر توان اکولوژیکی آن باشد، افزایش تقاضا برای مواد سلولزی، بیشتر از ظرفیت طبیعی تولید جنگل‌هاست. بنابراین اگر برای پاسخ به این تقاضای روزافزون در سطح جهانی جایگزینی در نظر گرفته نشود، ادامه وضعیت فعلی زمینه را برای برداشت مضاعف از جنگل‌های طبیعی ارزشمند بیشتر خواهد کرد.

۱۴ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

یکی از جهت‌گیری‌های عمده در کاهش برداشت از جنگل‌های طبیعی، توسعه جنگل‌های دست‌کاشت و زراعت چوب با هدف محوری تولید چوب است. البته در کنار تولید چوب می‌توان به اهداف دیگری مانند منظرسازی، تثبیت تپه‌های شنی، تلطیف هوا و غیره نیز دست پیدا کرد. در ایران از قدیم زراعت چوب به روش سنتی برای تأمین نیازهای محلی و بومی در مناطقی که توان بوم‌شناختی آنها از نظر تأمین آب و عرصه کاشت صنوبر مناسب بوده، رواج داشته است. برای اجرایی کردن راهبردهای توسعه زراعت چوب در تأمین مواد سلولزی مورد نیاز کشور، لازم است سه نکته اساسی شامل افزایش تولید در واحد سطح از طریق معرفی ارقام پرمحصول و اعمال روش‌های به‌زراعی، استفاده از سیستم بهره‌برداری کوتاه‌مدت صنوبر برای تولید بیشتر و کوتاه کردن دوره برگشت سرمایه و توسعه سطح صنوبرکاری‌های کشور مورد توجه ویژه تصمیم‌گیران این بخش اقتصادی قرار گیرد.

در راستای دسترسی به ارقام پرمحصول، نقطه عطف فعالیت تحقیقاتی در کشور عضویت ایران در کمیسیون بین‌المللی صنوبر در سال ۱۹۵۵ میلادی بود. سپس، با تأسیس مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور و فعال شدن ایستگاه‌های تحقیقاتی مادر در مناطق مختلف کشور و اجرای طرح‌های تحقیقاتی متعدد، فعالیت جدی و فراگیر برای معرفی کلن‌های پرمحصول و سازگار آغاز شد.

نتیجه بیش از ۵۰ سال فعالیت پژوهشگران در این مؤسسه و ایستگاه‌های تحقیقاتی وابسته، معرفی تعداد متعددی ارقام و کلن‌های پرمحصول و سازگار صنوبر برای مناطق مختلف کشور در راستای افزایش تولید در واحد سطح می‌باشد. امید است با بکارگیری نتایج تحقیقات انجام‌شده و جایگزین کردن ارقام سنتی با ارقام معرفی‌شده پرمحصول توسط بهره‌برداران و بخش اجرا، زمینه تحول تولید مواد سلولزی مورد نیاز صنایع چوب و کاغذ کشور تا حدودی فراهم شود (جلیلی و همکاران، ۱۳۸۶).

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۱۵
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

زراعت چوب با فاضلاب و پساب‌های شهری

اگرچه در سال‌های اخیر تمهیداتی برای منع استفاده از فاضلاب و پساب آلوده برای آبیاری محصولات کشاورزی اتخاذ شده است، اما همچنان بخش وسیعی از اراضی کشاورزی اطراف کلان‌شهرها متأثر از آبیاری با آب‌های آلوده می‌باشد. در چنین شرایطی یکی از راهکارهای موجود، تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به کاشت درختان تندرشد غیرمثمر با هدف زراعت چوب در این اراضی است. از سوی دیگر، کشور ایران با قرارگیری در منطقه کم‌بارش و کاهش چشمگیر سطح جنگل‌ها در دهه‌های اخیر، به شدت نیازمند راهکارهایی برای حفظ منابع طبیعی و تأمین چوب است.

در حال حاضر، میانگین مصرف سرانه چوب در دنیا ۰/۳ مترمکعب، در کشورهای توسعه‌یافته ۰/۷ مترمکعب و در ایران کمتر از ۰/۲ مترمکعب در سال برآورد شده است. با وجود مصرف کم سرانه چوب کشور در مقایسه با میانگین دنیا، عرصه‌های جنگلی کشور در معرض آسیب و تخریب جدی بوده و زراعت چوب با گونه‌های تندرشد، به عنوان یکی از مؤثرترین روش‌ها برای مقابله با این چالش مطرح می‌باشد. گونه‌هایی مانند بید، صنوبر و اکالیپتوس، به دلیل رشد سریع و سازگاری با شرایط آب‌وهوایی مختلف، گزینه‌های مناسبی برای زراعت چوب در ایران هستند. سوابق ۵۰ ساله ایران در زمینه زراعت چوب نشان داده است که مناطق مختلف کشور از ظرفیت مناسبی برای کاشت درختان تندرشد برخوردار است (مدیررحمتی، ۱۳۹۵). صنوبر به عنوان یک گونه درختی تندرشد، از دیرباز در اغلب مناطق ایران به عنوان منبع اصلی تأمین چوب و مواد اولیه برای بسیاری از صنایع کشور کشت شده است. براساس آمار و ارقام موجود، میزان تولید سالانه درختان صنوبر می‌تواند بیش از سه برابر تولید جنگل‌های تجاری شمال کشور باشد (بزرگمهر و همکاران، ۱۳۹۸).

۱۶ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

این درختان در تأمین مواد اولیه چوبی صنایع کاغذسازی، تخته‌خرده‌چوب، ام‌دی‌اف، روکش، کبریت، میز و صندلی و جعبه‌سازی نقش مهمی دارند. برای تولیدات غیرچوبی این درختان مانند علوفه دام و عناصر دارویی نیز گزارش‌های متعددی وجود دارد. این درختان در تأمین خدمات محیطی مانند ایجاد سایه، احداث سریع فضای سبز در شهرها، حفاظت خاک و آب به‌ویژه در اراضی حاشیه رودخانه و به‌عنوان درخت پرستار برای استقرار گونه‌های دیگر، گیاه‌پالایی، ترمیم رویشگاه‌های تخریب‌شده، احیاء اکوسیستم‌های شکننده و بازسازی چشم‌اندازهای جنگلی نیز دارای ارزش‌های فراوانی هستند (اسدی، ۱۳۹۹). از بین گونه‌های مختلف صنوبر، دو گونه سفید پلت (*Populus caspica*) و پده (*P. euphratica*) از گونه‌های بومی در مناطق شمالی و جنوب‌غربی کشور می‌باشند که دارای ارزش اقتصادی و زیست‌محیطی بالایی هستند. سایر گونه‌های صنوبر مانند تبریزی (*P. nigra*)، سپیدار (*P. alba*)، اورامریکن (*P. euramericana*) و دلتوئیدس (*P. deltoides*) وارداتی هستند که کلن‌هایی از آنها با توان تولید زیاد چوب در مناطق مناسب کشور به‌منظور زراعت چوب کشت می‌شوند (کلاگری و همکاران، ۱۳۹۶). اکالیپتوس‌ها نیز از دیگر گونه‌های درختی تندرشد می‌باشند. اکالیپتوس تقریباً یکصد سال پیش به ایران وارد و در قسمت‌های جنوبی کشور که محیط مناسبی برای رشد آن می‌باشد، کشت شده است. درکل، اراضی مستعد کشور از نظر امکان توسعه زراعت چوب، بیشتر در اراضی جلگه‌ای شمال و مناطق غرب و شمال‌غرب کشور واقع شده است. همچنین، مناطق جنوبی کشور نیز می‌تواند به کاشت صنوبر پده و اکالیپتوس اختصاص یابد (کلاگری و همکاران، ۱۴۰۱).

درختان تندرشد نیاز آبی زیادی دارند، به‌طوری‌که برای دستیابی به رشد مطلوب و حداکثر تولید در واحد سطح، نیاز آبی این درختان باید با حجم و در دفعات مناسب و کافی تأمین شود. با توجه به اهمیت آب در زراعت چوب و بحران شدید منابع آبی، پذیرش رویکرد استفاده از

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۱۷ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

فاضلاب یا پساب‌های شهری در زراعت چوب با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی انکارناپذیر است. از سوی دیگر، با توجه به عواقب جبران‌ناپذیر استفاده از فاضلاب یا پساب‌های شهری آلوده در اراضی کشاورزی، یکی از گزینه‌های مهم برای کاشت در اراضی متأثر از آب‌های آلوده، درختان تندرشد چوبده با هدف زراعت چوب است، که در صورت آلودگی خاک این درختان می‌توانند از طریق فرایند گیاه‌پالایی نیز سهم به‌سزایی در کاهش آلاینده‌های خاک داشته باشند. به‌طوری‌که تحقیقات نشان داده‌اند که در بین گونه‌های درختی، گونه‌های متعلق به خانواده بیدیان (Salicaceae) از قبیل صنوبرها و بیدها، گزینه‌های ایده‌آلی برای گیاه‌پالایی خاک‌های آلوده به فلزات سنگین هستند (Utmazian و همکاران، ۲۰۰۷؛ Goliński و همکاران، ۲۰۱۵؛ Mleczek و همکاران، ۲۰۱۹؛ Mataruga و همکاران، ۲۰۲۰).

درواقع، با توجه به ماهیت دوگانه فاضلاب و پساب شامل نقش مثبت آنها به‌عنوان منبع تأمین آب و منبع کودی و نقش منفی آن به‌عنوان یک آلاینده (Rattan و همکاران، ۲۰۰۵؛ Sharma و همکاران، ۲۰۰۷)، بازیافت آنها در زراعت چوب از چند جنبه می‌تواند سودمند باشد: (۱) جلوگیری از ورود آلودگی‌های میکروبی و فلزی به زنجیره غذایی انسان و کاهش عواقب ناشی از بی‌توجهی به سلامت عمومی جامعه،

(۲) توسعه زراعت چوب و تأمین بخشی از نیاز چوبی کشور،

(۳) افزایش تولید زی‌توده گیاهی با توجه به بالا بودن سطح عناصر غذایی در آب‌های نامتعارف،

(۴) جذب فلزات سنگین مضر از خاک توسط سیستم ریشه‌ای توسعه‌یافته حاصل از درختکاری که می‌تواند کاهش آلاینده‌های خاک را به دنبال داشته باشد، (۵) استفاده از کارکردهای زیست‌محیطی درختان و (۶) مدیریت فاضلاب و پساب‌های تولیدی و جلوگیری از مصرف آنها در بخش کشاورزی (صالحی، ۱۳۹۹b).

راهنمای گام‌به‌گام تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از آب‌های آلوده با ذکر نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه

تعیین مساحت و مکان‌یابی اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده

اولین گام برای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از آب‌های آلوده، اطلاع از وضعیت کلی کشاورزی منطقه مورد نظر است. بدین منظور، لازم است داده‌های علمی و مدونی در زمینه سطح اراضی کشاورزی، موقعیت قرارگیری آنها در منطقه، نوع محصولات تحت کشت، نوع آب مورد استفاده برای کشاورزی و سیستم آبیاری مورد استفاده در اراضی کشاورزی جمع‌آوری شود. این اطلاعات می‌تواند با مراجعه به اداره‌های زیرمجموعه وزات جهاد کشاورزی در هر استان و طی مکاتبات اداری به‌دست آید. با کسب این اطلاعات می‌توان مساحت اراضی کشاورزی متأثر از آبیاری با آب‌های آلوده در منطقه را به‌طور دقیق تعیین کرد. در مرحله بعد، لازم است با استفاده از اطلاعات به‌دست آمده اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده در منطقه مورد نظر مکان‌یابی و نقشه آنها تهیه شود. مطالعات منتشرشده‌ای در زمینه تعیین مساحت و مکان‌یابی اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده در کلان‌شهرها موجود نیست و ضرورت دارد برای مناطق مختلف کشور این ارزیابی براساس داده‌های میدانی و علمی دقیق انجام شود.

بررسی کمیت و کیفیت فاضلاب و پساب‌های تولیدی کلان‌شهرها و موارد تخصیص آنها

دومین گام برای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از آب‌های آلوده، اطلاع از کمیت، کیفیت و موارد تخصیص آب‌های آلوده تولیدی در منطقه مورد نظر است.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۱۹ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

اولین مرحله کسب این اطلاعات، مراجعه به شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب به‌منظور کسب داده‌های علمی و مدون از میزان رواناب‌های سطحی (فاضلاب خام) و پساب‌های تولیدی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، تهیه داده‌های لازم برای تعیین مسیر دقیق کانال‌های جمع‌آوری فاضلاب یا پساب از مبدأ تا مقصد به‌منظور تعیین اراضی که به این آب‌های آلوده دسترسی خواهند داشت و در نهایت تعیین موارد تخصیص و استفاده فاضلاب یا پساب جاری در منطقه می‌باشد.

در مرحله بعد براساس اطلاعات کسب‌شده، لازم است مسیر کانال‌های جمع‌آوری فاضلاب یا پساب بر روی نقشه منطقه مورد نظر مکان‌یابی شود. طبق نتایج به‌دست آمده از پروژه ملی اجرا شده در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تحت عنوان «تعیین اراضی مستعد زراعت چوب در حاشیه کلان‌شهرها با استفاده از آب‌های نامتعارف»، مشخص شد که در کلان‌شهر تهران سالانه تقریباً ۳۶۳ میلیون مترمکعب فاضلاب خام از طریق رواناب‌های سطحی و ۲۴۶ میلیون مترمکعب پساب تصفیه‌شده از بزرگترین تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر تولید می‌شود که بخش زیادی از این آب‌های نامتعارف در اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران مورد استفاده قرار می‌گیرد (عادلی، ۱۴۰۰).

در مشهد، دبی خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب آن تقریباً ۱۶/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده که این پساب پس از تخلیه به رودخانه کشف‌رود، برای آبیاری اراضی کشاورزی شرق این کلان‌شهر استفاده می‌شود.

در کلان‌شهر اصفهان پساب تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب شمال این شهر با دبی خروجی ۷۳ میلیون مترمکعب در سال برای مصارف کشاورزی استفاده می‌شود.

دبی خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب کلان‌شهر کرج نیز تقریباً ۳۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است که بخش زیادی از آن در اراضی کشاورزی استفاده می‌شود. همچنین، در

۲۰ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

کلان‌شهر شیراز نیز از ۵۶ میلیون مترمکعب پساب تصفیه‌شده در تصفیه‌خانه بزرگ فاضلاب این شهر تقریباً ۵۰ میلیون مترمکعب از آن به آبیاری اراضی کشاورزی اختصاص می‌یابد.

در شهر قم نیز حجم پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب آن ۱۷ میلیون مترمکعب در سال است که این پساب پس از تخلیه به رودخانه قمرود برای آبیاری اراضی کشاورزی این دشت استفاده می‌شود. دبی خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب کلان‌شهر تبریز نیز ۵۲ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده که از طریق رودخانه تلخه‌رود به دریاچه ارومیه می‌ریزد. نقشه مسیر و کانال اصلی فاضلاب و پساب تصفیه‌خانه برخی کلان‌شهرها در شکل ۲ نشان داده شده است (تیموری، ۱۳۹۹). پس از تعیین حجم فاضلاب یا پساب تولیدی، مسئله‌ای که باید مورد توجه قرار گیرد موارد تخصیص آن برای مصارف مختلف است. مهمترین موارد تخصیص فاضلاب و پساب‌های تولیدی کلان‌شهرها در حال حاضر آبیاری فضای سبز (برای نمونه قسمتی از پساب خروجی تصفیه‌خانه شهر اصفهان و پساب تولیدی در شش تصفیه‌خانه محلی شهر تهران)، تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی (قسمتی از پساب تولیدی در تصفیه‌خانه شهر قزوین)، مهار کانون‌های گردوغبار، تغذیه دریاچه‌ها و تالاب‌ها (پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های تبریز و ارومیه)، استفاده در صنعت و یا به‌عنوان حقابه کشاورزی (در اطراف بیشتر کلان‌شهرها) می‌باشد (تیموری، ۱۳۹۹). قسمتی از فاضلاب و پساب تولیدی در برخی کلان‌شهرها نیز در حال حاضر تخصیص خاصی نداشته و به محیط‌های طبیعی مانند دریاچه‌ها و رودخانه‌ها ریخته می‌شود. این رهاسازی در محیط‌های طبیعی علاوه بر ایجاد منظره ناخوشایند و بوی نامطبوع، منجر به آسیب به بوم‌سازگان و حیات‌وحش منطقه نیز می‌شود. بنابراین، پس از استعلام‌های لازم می‌توان برای فاضلاب و پساب مورد تخصیص کشاورزی و یا مواردی که هنوز برنامه‌ریزی نشده است، برنامه‌ریزی‌های لازم را برای توسعه زراعت چوب انجام داد. علاوه بر تعیین مقدار فاضلاب یا پساب تولیدی و موارد تخصیص آن، ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی این آب‌های

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۲۱ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

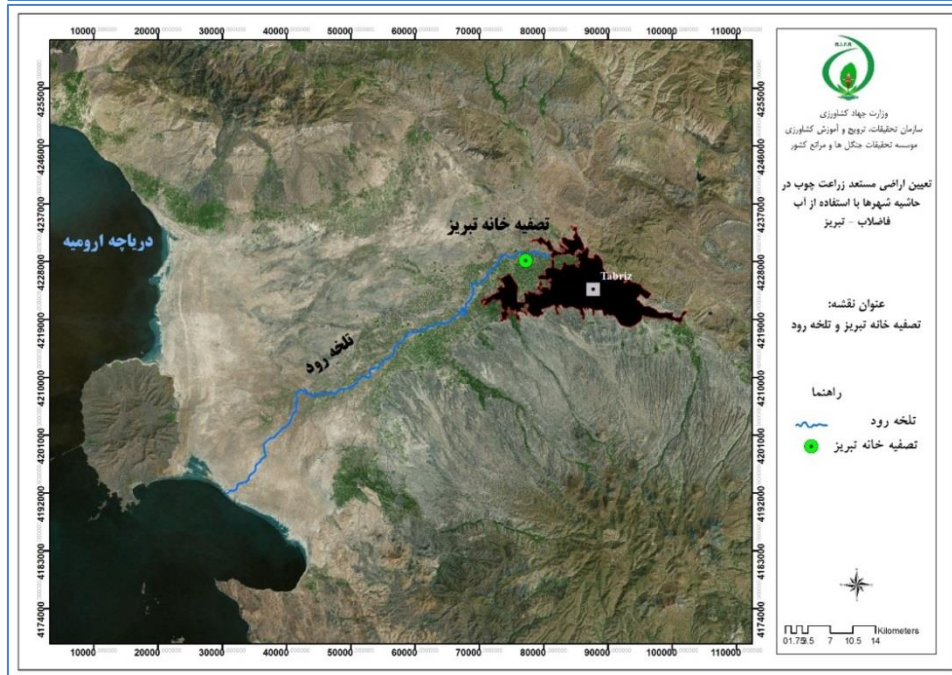
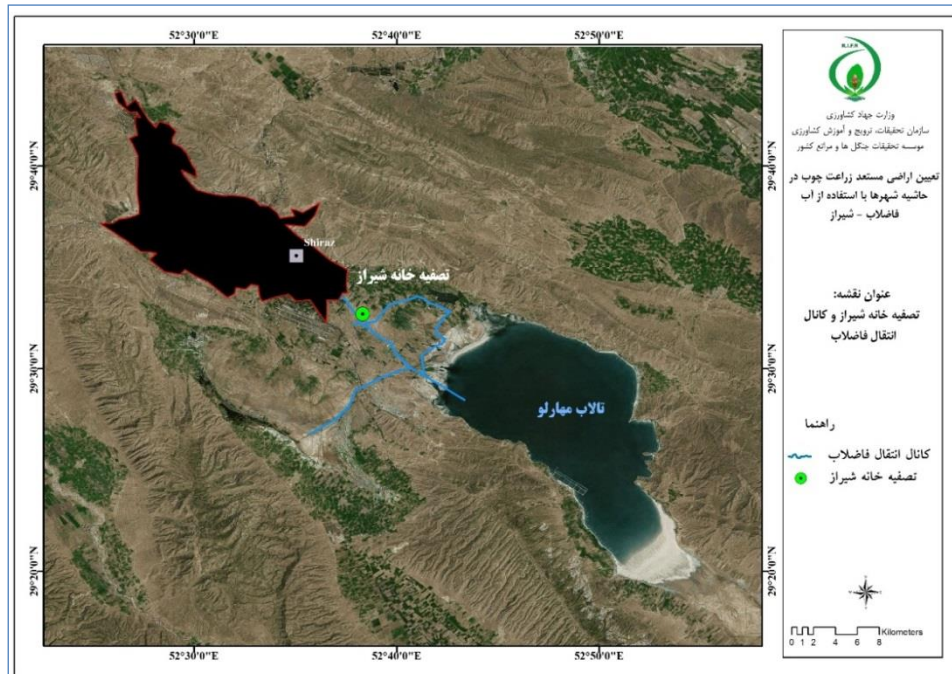
آلوده نیز به‌منظور مطابقت با استانداردهای ملی و بین‌المللی برای مصرف به‌عنوان آب آبیاری باید مورد توجه قرار گیرد.

برای تعیین خصوصیات کیفی فاضلاب یا پساب منطقه مورد نظر می‌توان از سه طریق شامل: (۱) مرور منابع گذشته به‌منظور استفاده از نتایج مطالعات و پژوهش‌های منتشرشده در این زمینه، (۲) تهیه داده از شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب و یا شرکت‌های مشاوره‌ای فعال در این زمینه (۳) بررسی میدانی منطقه مورد نظر و گرفتن نمونه‌های کافی از فاضلاب و پساب در طول مسیر و تعیین خصوصیات آن در آزمایشگاه، بهره برد.

از آنجایی‌که پساب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، طی فرایند تصفیه تولید شده و بر روی ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی پساب خروجی نظارت و کنترل وجود دارد، بنابراین تعیین ویژگی‌های آنها با مراجعه به شرکت فاضلاب منطقه مورد نظر امکان‌پذیر است. در مقابل، نظارت و اطلاعات کمتری در مورد کیفیت فاضلاب‌های خام جاری در هر منطقه وجود دارد. شکل ۳ فاضلاب خام جاری در اراضی جنوبی شهر تهران و پساب تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین را نشان می‌دهد.

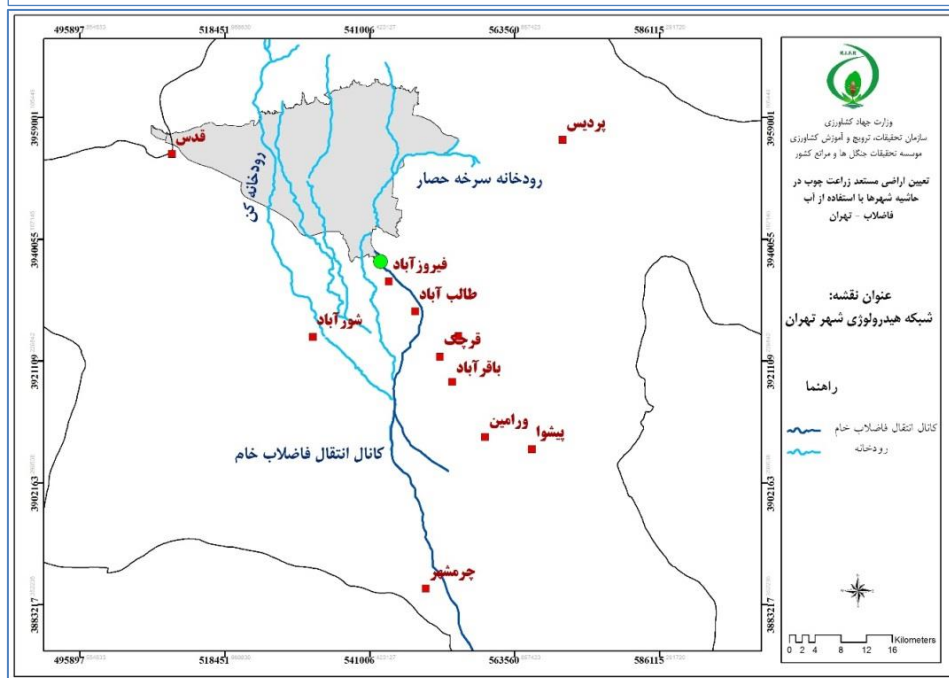
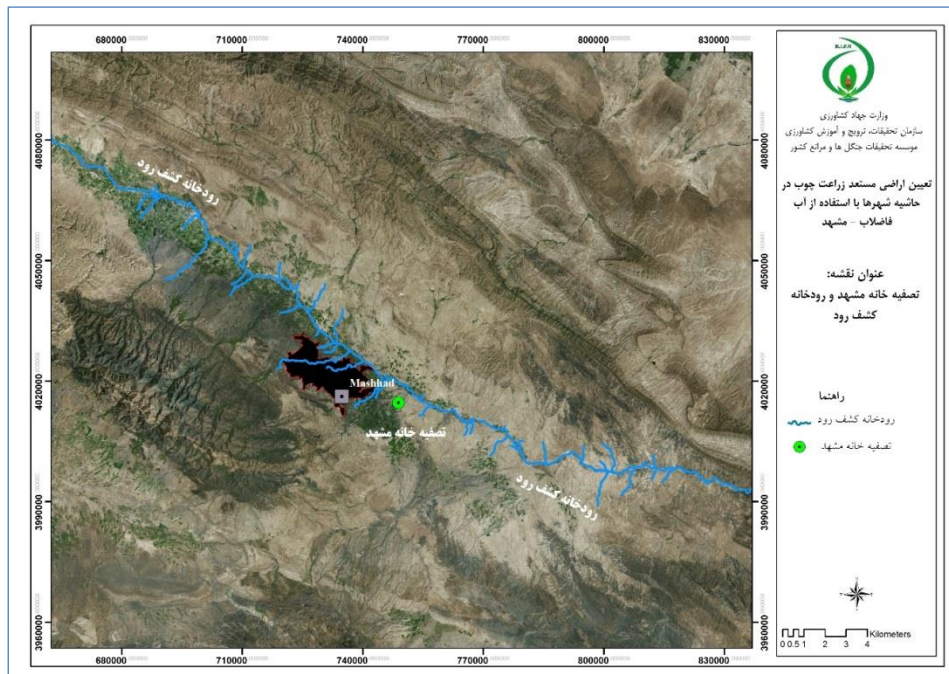
از آنجایی‌که اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران قطب اصلی تولید سبزی و صیفی محسوب می‌شود و از سال‌های دور رواناب‌های سطحی شهر تهران به این اراضی هدایت شده و منبع تغذیه و آبیاری مزارع این منطقه بوده است، کیفیت آب‌های آلوده جاری در این منطقه همواره مورد توجه پژوهشگران و کارشناسان بوده و کم‌وبیش مطالعاتی روی آنها انجام شده است. بررسی کیفیت رواناب جاری در نهر فیروزآباد در سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۱ نشان داد که این رواناب دارای محدودیت‌های شیمیایی و بهداشتی برای استفاده دوباره در کشاورزی است.

۲۲ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۲. مسیر و کانال اصلی فاضلاب و پساب تصفیه‌خانه برخی کلان‌شهرها

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۲۳
 در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۲. مسیر و کانال اصلی فاضلاب و پساب تصفیه‌خانه برخی کلان‌شهرها

۲۴ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۳. فاضلاب خام جاری در اراضی جنوبی شهر تهران (بالا)
و پساب تولیدی در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر قزوین (پایین)

با توجه به تعطیلی برخی از کارگاه‌های صنعتی داخل شهر و انتقال صنایع مزاحم و آلوده‌ساز به بیرون از محدوده شهری، در سال ۱۳۷۵ مطالعه دیگری بر روی کیفیت این رواناب انجام شد. نتایج این بررسی، روند بهبود کیفیت این رواناب را نشان داد. به طوری که از نظر غلظت فلزات سنگین، محدودیتی در استفاده از آب‌های آلوده برای آبیاری محصولات کشاورزی گزارش نشد. اما نتایج بررسی‌های میکروبی نشان داد که از لحاظ بهداشتی همچنان استفاده از این آب آلوده برای آبیاری محصولات کشاورزی محدودیت دارد (تجربشی، ۱۳۷۷).

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۲۵ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

در مطالعه سهیلی (۱۳۷۳)، با توجه به استانداردهای ارائه‌شده توسط سازمان محیط‌زیست کشور که در مقایسه با استانداردهای بین‌المللی زیاد است، نهر فیروزآباد هیچ‌گونه آلودگی از نظر عناصر سنگین مورد بررسی نداشت. همچنین، مقایسه سطح فلزات سنگین موجود در رواناب جاری در سه کانال سرخه‌حصار، کن و عمادآورد شهر تهران با مقادیر مجاز آب آبیاری در مطالعه Nabizadeh و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که تنها غلظت فلز کادمیم از مقدار مجاز توصیه‌شده برای آب آبیاری بیشتر است و فلزات سرب، نیکل، روی و مس در محدوده مجاز آب آبیاری بودند در مطالعه دیگری، نتایج پایش کیفی رواناب جاری در کانال‌های فیروزآباد و سرخه‌حصار در محل ورود به مزرعه نشان داد که اگرچه این آبها با دارا بودن مقادیر زیادی از نترات، فسفات و سایر عناصر غذایی تقویت‌کننده خاک می‌باشند، اما این رواناب‌ها به‌ویژه رواناب جاری در کانال فیروزآباد از نظر بهداشتی مناسب آبیاری محصولات کشاورزی نیست (فصیحی، ۱۳۹۳). یزدانبخش و همکاران (۱۳۹۴) نیز با بررسی مشخصه‌های کیفی رواناب سطحی کانال فیروزآباد شهر تهران برای مصارف آبیاری، گزارش کردند که این آب از نظر کیفیت شیمیایی در رده متوسط قرار گرفته و با توجه به نتایج به‌دست آمده در مورد محدودیت‌های فیزیکی و خطرات بهداشتی مرتبط با خصوصیات میکروبی و برخی از فلزات سنگین مانند نیکل استفاده مستقیم از این رواناب در آبیاری اراضی کشاورزی توصیه نمی‌شود. در مطالعه اخیر دیگری فاضلاب خام مورد استفاده (که از رواناب‌های جاری در کانال‌های سرخه‌حصار و فیروزآباد تغذیه می‌شدند) در صنوبرکاری‌های جنوب شهر تهران طی پروژه مصوب انجام‌شده در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور تحت عنوان «بررسی عملکرد تولید چوب و پتانسیل گیاه‌پالایی درختان صنوبر (*Populus nigra*) آبیاری‌شده با فاضلاب شهری در جنوب تهران» در فصول مختلف بررسی و با استانداردهای FAO، EPA و سازمان محیط‌زیست ایران مقایسه شد. نتایج نشان داد که به‌طور کلی این آب از نظر pH، EC، غلظت

۲۶ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

عناصر غذایی و فلزات سنگین در محدوده مجاز آب آبیاری است. اما همانطور که در مطالعات متعدد نیز بیان شده است این آب از نظر بهداشتی برای آبیاری محصولات مورد مصرف مستقیم انسان، به‌ویژه سبزیجات و صیفی‌جات به هیچ‌وجه توصیه نمی‌شود. از سوی دیگر، بازدید میدانی اراضی کشاورزی تحت آبیاری با این فاضلاب خام نشان داد که فاضلاب کارگاه‌های متعددی به‌صورت موردی به کانال‌های آبیاری وارد می‌شود (شکل ۴)، که به‌گفته ساکنان منطقه، میزان ورودی این فاضلاب‌های کارگاهی در برخی از ساعات شبانه‌روز بسیار زیاد است. نمونه‌برداری از یکی از این فاضلاب‌های کارگاهی و تعیین غلظت فلزات سنگین موجود در آن در پروژه مذکور نشان داد که غلظت فلزات سنگینی مانند آرسنیک، کروم، لیتیوم، مولیبدن، نیکل، ریبیدیم، آنتیموان و استرانسیم و عناصر کلسیم، منیزیم، سدیم، پتاسیم و سولفور در آن بسیار بالا بود. بنابراین در برخی از ساعات شبانه‌روز می‌تواند حجم زیادی از این عناصر به‌همراه آب آبیاری وارد اراضی کشاورزی و محصولات تحت کشت شود (صالحی، ۱۴۰۰).



شکل ۴. ورود فاضلاب - کارگاهی به کانال آبیاری

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۲۷
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

ظرفیت‌سنجی و مکان‌یابی اراضی مستعد زراعت چوب با فاضلاب و پساب

با توجه به اینکه گونه‌های درختی تندرشد به‌ویژه صنوبرها نسبت به ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی خاک حساسیت زیادی ندارند و خاکی با شرایط نرمال از نظر اسیدیته و شوری برای کشت‌وکار با این گونه‌ها کفایت می‌کند، قدرمسلّم کلیه اراضی کشاورزی مناسب زراعت چوب هستند. اما به‌طورکلی در این مرحله لازم است کلیه اراضی مستعد زراعت چوب با فاضلاب و پساب در منطقه مورد نظر، ظرفیت‌سنجی، تعیین مساحت و در نهایت بر روی نقشه مکان‌یابی شوند تا بتوان دیدگاه درستی از توسعه زراعت چوب در منطقه به‌دست آورد.

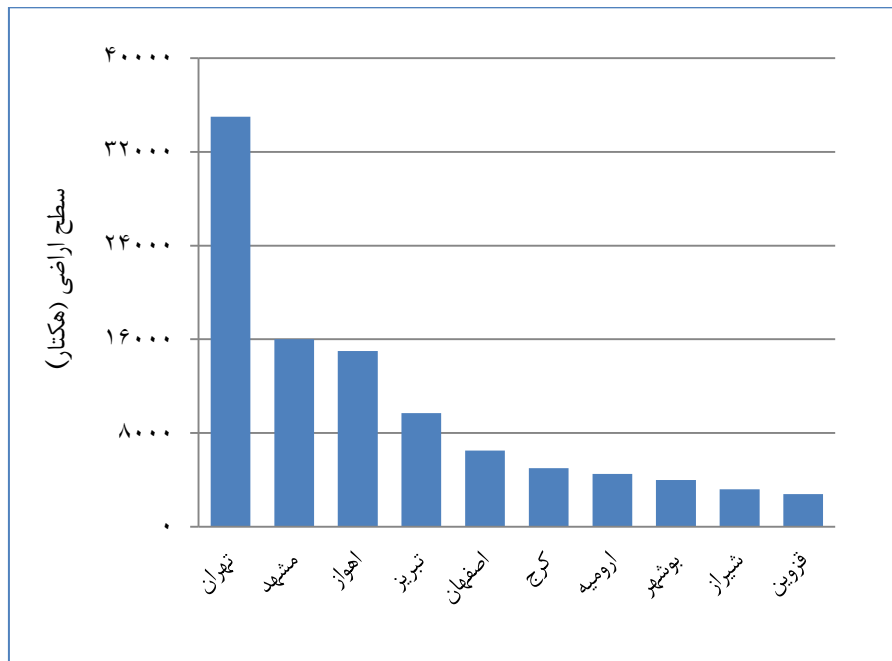
برای تعیین اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده، لازم است عوامل مؤثر بر توسعه زراعت چوب مورد توجه قرار گیرد. این عوامل در چهار گروه عوامل توپوگرافی (شیب، جهت و ارتفاع)، اقلیمی (بارندگی، درجه حرارت و اثر باد شامل تلفیقی از جهت و سرعت باد)، انسانی (کاربری اراضی و پوشش گیاهی) و ادافیکی (ژئولوژی و نوع خاک) خلاصه می‌گردد. بنابراین نیاز است وضعیت اراضی قابل کشت منطقه مورد نظر از نظر فاکتورهای ذکرشده، نوع مالکیت و فاصله و میزان دسترسی به آب‌های آلوده مشخص گردد.

پس از گردآوری اطلاعات اولیه و پردازش آنها، مکان‌یابی اراضی مستعد از طریق ادغام نقشه‌های مربوط به لایه‌های شیب، ارتفاع، قابلیت اراضی، کاربری اراضی، خاک‌شناسی و میزان دسترسی به کانال فاضلاب یا پساب انجام می‌شود. در نهایت، به‌منظور اولویت‌بندی اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده، می‌توان از روش‌های مختلف مدل‌سازی از جمله شبکه عصبی مصنوعی استفاده کرد. در این روش، اراضی تحت کشت صنوبر به‌عنوان مناطق آموزشی در طراحی مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده و با توجه به خروجی مدل، اراضی استخراج‌شده از نظر ظرفیت اکولوژیکی و میزان دسترسی و دوری و نزدیکی به کانال انتقال فاضلاب و تصفیه‌خانه اولویت‌بندی می‌شوند.

۲۸ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

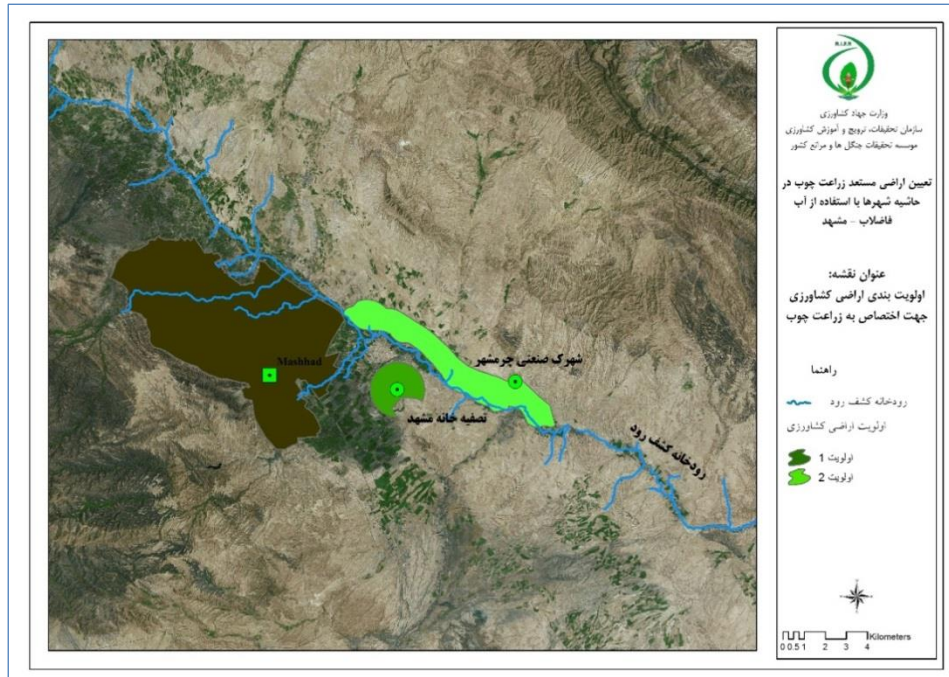
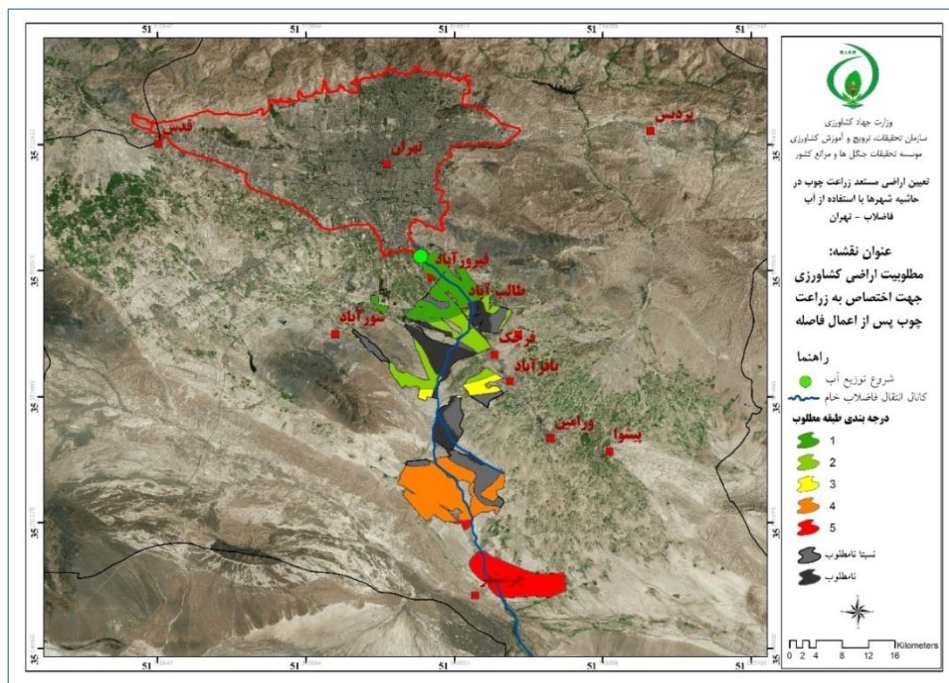
براساس پروژه ملی انجام‌شده در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده در اطراف برخی کلان‌شهرها با توجه به عوامل اکولوژیکی و میزان دسترسی به آب آلوده ظرفیت‌سنجی و مکان‌یابی شد.

نتایج این پژوهش در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین سطح در کلان‌شهر تهران و کمترین سطح در کلان‌شهر قزوین برای توسعه زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب وجود دارد. شایان ذکر است که مساحت‌های استخراج‌شده نیاز است با توجه به بحث مالکیت بهینه و واقعی شوند. شکل ۶ نقشه مطلوبیت و اولویت‌بندی اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده را در چهار کلان‌شهر تهران، مشهد، اصفهان و شیراز نشان می‌دهد (تیموری، ۱۳۹۹).



شکل ۵. اراضی مستعد توسعه زراعت چوب با فاضلاب و پساب
در حاشیه کلان‌شهرها (هکتار)

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۲۹
 در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۶. نقشه اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده در اطراف برخی کلان‌شهرها

تعیین گونه‌های تندرشد مناسب توسعه زراعت چوب با فاضلاب و پساب متناسب با شرایط اقلیمی منطقه و تعیین نیاز آبی آنها

در گام سوم، لازم است گونه‌های مناسب زراعت چوب با فاضلاب و یا پساب برای منطقه مورد نظر با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌های درختی تندرشد چوبده تعیین شود.

در مرحله اول با توجه به آبیاری با آب آلوده، باید گونه‌های درختی انتخاب شوند که برای این نوع آبیاری سازگار (از نظر ترکیبات و عناصر موجود در این نوع آب‌ها) و مناسب (از نظر مسائل محیط‌زیستی و بهداشتی) باشند. از آنجایی که در این نوشتار تأکید بر فاضلاب و پساب تصفیه‌شده شهری است، این نوع آب‌های آلوده اغلب فاقد ترکیبات مضر و آسیب‌زننده به رشدونمو گونه‌های درختی هستند و با توجه به نتایج تحقیقات انجام‌شده در این زمینه حتی به‌دلیل عناصر غذایی موجود در این نوع آب‌ها، شرایط رویشی مناسبی را برای گونه‌های درختی فراهم می‌سازند. درمقابل، فاضلاب و یا پساب‌های صنعتی به‌دلیل داشتن فلزات سنگین، شوری و یا اسیدیته بالا می‌توانند به استقرار و رشد گونه‌های درختی آسیب وارد کنند.

در همین راستا، پروژه‌های تحقیقاتی متعددی با عنوان‌های «بررسی ویژگی‌های رویشی و جذب فلزات سنگین برخی ارقام صنوبر و بید در دو محیط کشت هیدروپونیک و خاک متأثر از آب‌های نامتعارف»، «بررسی عملکرد تولید چوب و پتانسیل گیاه‌پالایی درختان صنوبر (*Populus nigra*) آبیاری‌شده با فاضلاب شهری در جنوب تهران» و «تأثیر کاربرد همزمان پساب و لجن فاضلاب بر کشت دو گونه صنوبر (۴ کلن) در سایت تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران» در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور به‌منظور بررسی سازگاری گونه‌ها و کلن‌های مختلف صنوبر و بید تحت شرایط آبیاری با فاضلاب خام و پساب تصفیه‌شده انجام شده است (صالحی، ۱۳۹۹؛ صالحی، ۱۴۰۰).

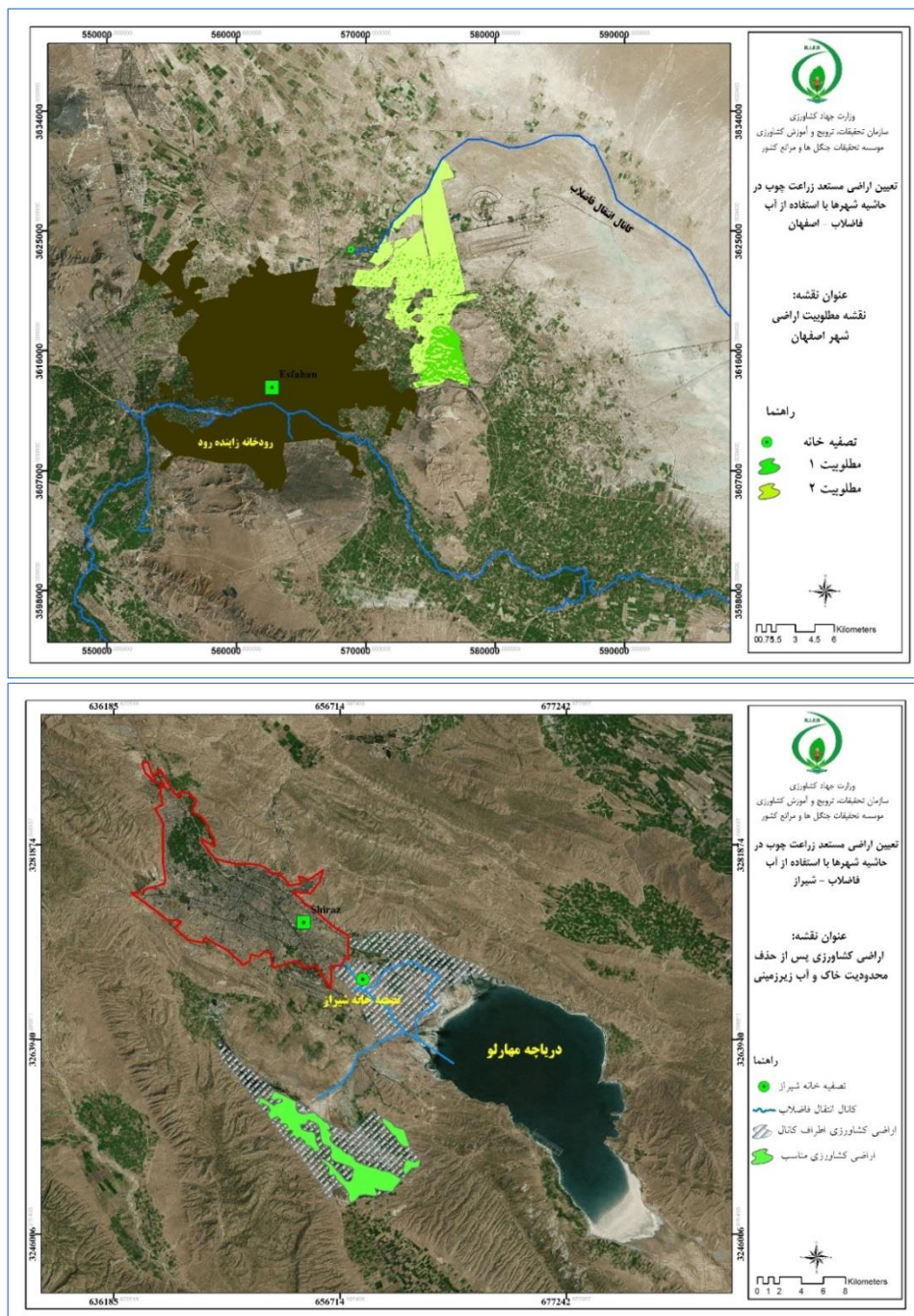
راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۳۱
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

نتایج حاصل از این پروژه‌های تحقیقاتی نشان داده است که گونه‌ها و کلن‌های مختلف صنوبر و بید از سازگاری بسیار خوبی برای آبیاری با این آب‌های آلوده برخوردار بوده، به‌طوری‌که در نهال‌ها و درختان تحت آبیاری با فاضلاب و یا پساب عملکرد رشد به‌طور معنی‌داری بیشتر از آبیاری با آب معمولی بود.

همچنین بررسی ظرفیت گیاه‌پالایی نهال‌ها و درختان در پروژه‌های مذکور نشان داد که این گونه‌های درختی با جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین و تجمع آنها در اندام‌های مختلف گیاهی می‌توانند نقش مهمی در کاهش آلاینده‌گی خاک ایفا نمایند (صالحی و همکاران، ۱۴۰۰؛ صالحی و احمدلو، ۱۴۰۱؛ صالحی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Salehi و همکاران، ۲۰۲۳؛ Salehi و شریعت، ۲۰۲۴؛ Salehi و همکاران، ۲۰۲۴).

از سوی دیگر، از آنجایی‌که گونه‌های درختی چوبده ارتباط مستقیمی با زنجیره غذایی موجودات زنده ندارند، نگرانی‌های محیط‌زیستی و بهداشتی استفاده از آب‌های آلوده در کشت‌وکار آنها نیز بسیار کمتر خواهد بود. شکل ۷ توده صنوبر سه‌ساله آبیاری شده با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شهر تهران را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود، بعد از گذشت سه سال درختان صنوبر کبوده به قطر و ارتفاع قابل توجهی رسیده‌اند.

۳۲ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۶. نقشه اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده در اطراف برخی کلان‌شهرها

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۳۳
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۷. تصویر هوایی و توده صنوبر سه‌ساله آبیاری‌شده با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شهر تهران

۳۴ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

در مرحله دوم این گام، نیاز است که گونه درختی متناسب با شرایط اقلیمی حاکم بر منطقه و ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌های درختی تعیین شود. مطالعات و پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه زراعت چوب نشان داده است که مناطق مختلف کشور از ظرفیت مناسبی برای کاشت درختان تندرشد برخوردارند. در کل، برای اراضی جلگه‌ای شمال کشور کلن‌های با توان تولید بالای گونه‌های صنوبر اورامریکن (*P. euramericana*) و دلتوئیدس (*P. deltoides*)، برای مناطق نیمه‌خشک کشور کلن‌های با توان تولید بالای گونه‌های صنوبر تبریزی (*P. nigra*) و کبوده (*P. alba*) و برای مناطق جنوبی کشور صنوبر پده (*P. euphratica*) و گونه‌های سازگار و پربازده اکالیپتوس (*Eucalyptus sp.*) توصیه می‌شود.

پس از تعیین گونه درختی تندرشد مناسب، لازم است نیاز آبی گونه براساس سرشت اکولوژیکی آن و شرایط اقلیمی منطقه و توجه به فاکتورهای میزان بارش و تبخیر و تعرق در فصل رویش تعیین شود. برای به‌دست آوردن نیاز آبی گونه درختی مورد نظر می‌توان با مرور منابع، از نتایج پژوهش‌های منتشرشده در این زمینه با بروزرسانی و بهینه کردن داده‌ها براساس شرایط اقلیمی منطقه مورد نظر بهره برد. برای نمونه، راد (۱۳۹۷) گزارش‌هایی در زمینه نیاز آبی برخی از گونه‌های مورد استفاده در جنگل‌کاری مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور شامل تاغ، گز، آتریپلکس، اسکنبیل، پده، سنجد و چند گونه اکالیپتوس که از طریق آزمایش‌های لایسیمتری به‌دست آمده است، منتشر کرده است. همچنین، براساس نتایج به‌دست آمده از پژوهش‌های انجام شده در بخش تحقیقات صنوبر و درختان سریع‌الرشد مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، برای رسیدن به تولید در هکتار حداکثری گونه‌های صنوبر تبریزی و کبوده در مناطق نیمه‌خشک کشور، نیاز آبی درختان را لازم است بین ۱۴ تا ۱۸ هزار مترمکعب در هکتار در سال با توجه به شرایط اقلیمی منطقه در نظر گرفت.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۳۵
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

ارتباط با بخش‌های دولتی مرتبط و تأثیرگذار

پس از طی مراحل چهارگانه ذکرشده و به‌دست آوردن داده‌های علمی و مدون از مساحت اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده، کمیت و کیفیت فاضلاب و پساب‌های تولیدی و موارد تخصیص آنها، تعیین گونه‌های مناسب زراعت چوب و نیاز آبی آنها و در نهایت تعیین مساحت اراضی مستعد زراعت چوب با آب‌های آلوده در منطقه مورد نظر، لازم است بخش‌های دولتی مرتبط و تأثیرگذار شامل اداره‌های مرتبط با وزارت جهاد کشاورزی (اداره منابع طبیعی، اداره جهاد کشاورزی و اداره محیط‌زیست)، وزارت نیرو (شرکت‌های آب منطقه‌ای و آب و فاضلاب)، وزارت بهداشت (اداره‌های مرتبط با بهداشت محیط‌زیست و بهداشت و سلامت عمومی جامعه)، شهرداری و فرمانداری طی نامه‌های رسمی در جریان اطلاعات به‌دست آمده و همکاری‌هایی که می‌توانند در زمینه توسعه زراعت چوب در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده نمایند، قرار گیرند.

درواقع، اداره‌های زیرمجموعه وزارت جهاد کشاورزی به‌دلیل ارتباط با کشاورزان و نظارت بر اراضی کشاورزی و مسائل محیط‌زیستی ناشی از استفاده از فاضلاب و پساب آلوده برای آبیاری محصولات کشاورزی، اداره‌های زیرمجموعه وزارت نیرو با تخصیص فاضلاب و پساب‌های تولیدی به زراعت چوب، اداره‌های زیرمجموعه وزارت بهداشت با همکاری در زمینه آگاه‌سازی از عواقب و هزینه‌های گزاف ناشی از بی‌توجهی به بهداشت و سلامت عمومی در صورت استمرار در آبیاری اراضی کشاورزی با آب‌های آلوده و شهرداری و فرمانداری منطقه مورد نظر نیز با ایجاد بستر و تسهیلات مناسب برای تسریع در امور مربوط می‌توانند همکاری‌های لازم را در این زمینه انجام دهند.

جلب مشارکت‌های مردمی و حمایت کشاورزان با اقتصادی کردن این موضوع

یکی از ویژگی‌های بارز صنوبرکاری، نقش جدی مردم و سرمایه‌گذاری در این ارتباط می‌باشد. در واقع، از آنجایی که قسمت اعظم اراضی کشاورزی تحت مالکیت خصوصی است، سهم زیادی از موفقیت طرح تغییر الگوی کشت در اراضی کشاورزی متأثر از آبیاری با آب‌های آلوده به مشارکت‌های مردمی وابسته می‌باشد. اما چطور می‌توان از مشارکت‌های مردمی در این زمینه استفاده کرد؟ برای بهره‌گیری از مشارکت‌های مردمی در وهله اول نیاز است با هماهنگی اداره جهاد کشاورزی منطقه مورد نظر با توجه به داده‌های به‌دست آمده از گام اول (تعیین مساحت و مکان‌یابی اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده) فهرستی از کشاورزان اراضی تحت آبیاری با آب‌های آلوده تهیه شود و در مرحله بعد برای کشاورزان کلاس‌های ترویجی و توجیهی با موضوعات ویژگی‌های فاضلاب و پساب و نگرانی‌های زیست‌محیطی استفاده از آنها برای محصولات کشاورزی، زراعت چوب و اهمیت توسعه آن با آب‌های آلوده و آگاه‌سازی در زمینه عواقب و خطرات بهداشتی و سلامت عمومی ناشی از مصرف محصولات آلوده، برگزار شود تا ذهن کشاورزان برای پذیرش این موضوع و همکاری در این زمینه آماده شود. از اساسی‌ترین مشکلات صنوبرکاری، دیربازده بودن سرمایه در این بخش در مقایسه با بازدهی سریع سرمایه در بخش کشاورزی است که می‌تواند موجب کاهش انگیزه کشاورزان شود. بنابراین، با توجه به اینکه درآمد و امرار معاش کشاورزان از اراضی کشاورزی می‌باشد و در مقابل زراعت چوب فرایندی زمان‌بر است و تقریباً کشاورز نیاز است یک دوره ۶ تا ۸ ساله برای فروش محصولات خود سپری کند، برای جلب مشارکت‌های مردمی نیاز است با دادن تسهیلاتی مانند تأمین نهاده‌ها (نهال درختی رایگان، کود)، وام‌های کم‌بهره بلندمدت، بیمه، نظارت و راهنمایی‌های لازم در عملیات کاشت، داشت و برداشت عرصه، جلب اعتماد و اطمینان کشاورزان از فروش چوب و یا حتی پیش‌خرید چوب تولیدی با همکاری کارخانجات و

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۳۷ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

کارگاه‌های صنایع چوب و کاغذ، کشاورزان برای انجام این کار ترغیب شوند. در واقع، مهمترین فعالیتی که برای این مرحله باید انجام شود اقتصادی کردن زراعت چوب در اراضی کشاورزی تحت آبیاری با آب‌های آلوده نسبت به کشت محصولات کشاورزی برای کشاورز است تا مالک زمین با رغبت کامل بتواند همکاری‌های لازم را به صورت متناوب در این زمینه انجام دهد.

ایجاد مزارع نمایشی زراعت چوب در اراضی کشاورزی

در ادامه جلب مشارکت‌های مردمی، ایجاد مزارع نمایشی زراعت چوب در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده با همکاری کشاورزان علاقمند و فعال در این زمینه ضروریست. ایجاد پایلوت‌های نمایشی زراعت چوب از چندین جهت شامل (۱) آمادگی بصری کشاورزان برای تغییر الگوی کشت در اراضی متأثر از آب‌های آلوده، (۲) ایجاد پایلوت‌های نمایشی برای بازدید قشرهای مختلف، (۳) ترویج واقعی موضوع در سطح منطقه، (۴) ایجاد مشاهدات عینی از نتایج و کارکردهای توسعه زراعت چوب در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده و (۵) فراهم‌شدن زمینه‌ای برای انجام مطالعات پژوهشی در این زمینه، سودمند واقع خواهد شد. شکل ۸ زراعت چوب در اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود، در زمین مجاور، ذرت علوفه‌ای کشت شده است و این ذرت که خوراک دام می‌شود، با فاضلاب خام آلوده جاری در منطقه آبیاری شده است.

در همین راستا، در سال ۱۳۹۳ با همکاری مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، جهاد کشاورزی استان تهران و انجمن صنفی کارفرمایان صنایع چوب و کاغذ ایران، برنامه تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی کشاورزی متأثر از فاضلاب‌های جنوب تهران شروع شد.

۳۸ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۸. مزرعه نمایشی زراعت چوب در اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران

طی جلسات متعدد با کشاورزان منطقه، تعدادی از کشاورزان موافقت و همکاری خود را برای اختصاص اراضی کشاورزی به صنوبرکاری با فاضلاب اعلام کردند و تقریباً ۳۰ هکتار از اراضی کشاورزی جنوب تهران به صنوبرکاری با فاضلاب‌های جاری در منطقه اختصاص یافت. طی یک پروژه تحقیقاتی مصوب مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، برخی از این صنوبرکاری‌ها طی یک دوره پنج‌ساله بررسی شدند. در شکل ۹ برخی از این توده‌های صنوبرکاری و یکی از کانال‌های فاضلاب جاری در منطقه نمایش داده شده است. نتایج پایش پنج‌ساله درختان صنوبر در سه توده صنوبرکاری آبیاری‌شده با فاضلاب خام جاری در منطقه واقع در روستاهای زمان‌آباد، قلعه‌نو و ده‌خیر نشان داد که درختان صنوبر از عملکرد رشد بسیار خوبی برخوردار بودند. به‌طوری‌که بعد از گذشت پنج سال، میانگین ارتفاع، قطربرابرسینه و

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۳۹
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

متوسط رویش حجمی درختان صنوبر به ترتیب ۱۱/۲۲ متر و ۱۰/۸۹ سانتی‌متر و ۳۳/۸۴ مترمکعب در هکتار در سال بود. در این پروژه، غلظت بیش از ۵۰ فلز سنگین در خاک اراضی تحت کشت صنوبر که سال‌های متمادی متأثر از فاضلاب جاری در منطقه بود و در آنها محصولات کشاورزی کشت شده است نیز تعیین و ارزیابی زیست‌محیطی آلودگی خاک به فلزات سنگین با توجه به فاکتورها و شاخص‌های آلودگی انجام شد (Maanan و همکاران، ۲۰۱۴؛ Rinklebe و همکاران، ۲۰۱۹). براساس فاکتور آلودگی که غلظت فلز سنگین در خاک مورد مطالعه را نسبت به میانگین جهانی و متداول غلظت فلز سنگین در خاک‌های طبیعی و دست‌نخورده می‌سنجد، فلزات سنگینی مانند روی، منگنز، نیکل، کروم، سرب، کادمیم، آرسنیک، باریم، قلع، آنتیموان و لیتیوم دارای آلودگی متوسط و فلزات سنگین مس، جیوه، نقره و استرانسیم دارای آلودگی قابل توجه در نمونه خاک‌های مورد مطالعه بودند.

از نظر درجه آلودگی که مجموع فاکتور آلودگی فلزات سنگین اندازه‌گیری شده می‌باشد، نمونه خاک‌های مورد مطالعه دارای درجه آلودگی بالایی بودند.

همچنین ارزیابی شدت آلودگی خاک به فلزات سنگین با توجه به شاخص بار آلودگی نیز نشان داد که خاک‌های مورد بررسی در گروه خاک‌های آلوده قرار دارند. در نهایت محاسبه شاخص ظرفیت خطر اکولوژیکی (در این شاخص علاوه بر غلظت فلز سنگین در خاک، میزان سمیت بیولوژیکی فلز سنگین نیز دخالت دارد) نشان داد که نمونه خاک‌های مورد مطالعه از نظر این شاخص دارای خطر متوسط تا قابل توجه از نظر آلودگی به فلزات سنگین می‌باشند. از سوی دیگر، بررسی غلظت عناصر غذایی و فلزات سنگین جذب‌شده در اندام‌های گیاهی (ریشه، ساقه و برگ) طی سال‌های مختلف نشان داد که درختان صنوبر با جذب و تجمع عناصر و فلزات در اندام‌های گیاهی می‌توانند نقش مهمی در کاهش آلاینده‌های خاک ایفا نمایند (صالحی، ۱۴۰۰).

۴۰ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۹. برخی توده‌های صنوبر آبیاری شده با فاضلاب در اراضی کشاورزی جنوب تهران

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۴۱
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها



شکل ۱۰. مطالعه و بررسی توده‌های صنوبر آبیاری شده با فاضلاب

همسویی و همکاری سازمان‌های دولتی، پژوهشی، اجرایی و صنعتی برای توسعه و ترویج تغییر الگوی کشت در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده

قدمسلم از آنجایی که موضوع تغییر الگوی کشت در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده از یک سو به‌طور مستقیم با معیشت کشاورز که اغلب جزء اقشار کم‌درآمد جامعه هستند سروکار دارد و از سوی دیگر فرایندی زمان‌بر است، بنابراین نیاز است طی چندین سال متوالی با ممارست و پیگیری‌های لازم و جدی، آگاه‌سازی گسترده در سطح جامعه و همسویی و همکاری‌های چندجانبه سازمان‌های ذی‌ربط شامل سازمان‌های دولتی، پژوهشی، اجرایی و صنعتی و رفع موانع اقتصادی و اجتماعی انجام شود. به‌طور کلی، وظایف سازمان‌های مختلف می‌تواند در موارد ذیل خلاصه شود.

✓ در اولین و مهمترین قدم، نیاز است این موضوع در سطح کلان موردپذیرش قرار گرفته و در سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی‌های کلان‌کشوری دیده شود و حمایت‌های مادی و معنوی لازم از سوی دولت برای به اجرا درآمدن این موضوع در عمل انجام شود.

✓ بخش پژوهش موظف است با ارائه داده‌های علمی از نتایج اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی حاصل از توسعه زراعت چوب در اراضی تحت آبیاری با آب‌های آلوده و عواقب و هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از بی‌توجهی به این مسئله و مشارکت و همکاری کامل در کلیه مراحل کاشت، داشت و برداشت و ارائه نظرات کارشناسی در این زمینه، سازمان‌های دولتی و اجرایی را برای همسویی و همکاری در این راستا ترغیب نماید.

✓ بخش پژوهش و اجرا نیاز است با همکاری یکدیگر با ایجاد مزارع نمایشی و ترویجی از گونه‌های تندرشد چوب‌ده در اراضی متأثر از آب‌های آلوده، زمینه را برای پذیرش این موضوع در سطح جامعه فراهم نمایند.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۴۳ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

✓ سازمان‌های اجرایی نیاز است با تکیه و اعتماد بر اطلاعات، تجربیات و نظرات کارشناسی بخش پژوهش، شرایط اجرایی شدن تغییر الگوی کشت را در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده فراهم نمایند.

✓ واحدهای صنعتی چوب و کاغذ نیاز است با فراهم کردن شرایطی مانند پیش‌خرید درختان صنوبر سرپا و یا تضمین خرید چوب از کشاورز به‌منظور جلب اعتماد و اطمینان کشاورزان از نظر اقتصادی همکاری‌های لازم را در این زمینه انجام دهند.

نتیجه‌گیری

در بیشتر کلان‌شهرهای ایران کمبود منابع آبی بحران امروز و تهدیدی جدی برای آینده می‌باشد. از سوی دیگر، روزانه حجم وسیعی از پساب‌های خانگی، شهری و صنعتی تولید می‌شود که منطقی‌ترین راه، جمع‌آوری، مدیریت و استفاده از آنها در موارد مجاز محیط‌زیستی است. متأسفانه در دهه‌های اخیر در نقاط مختلف کشور، بخش وسیعی از آب‌های آلوده به‌منظور آبیاری اراضی کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به احتمال انتقال آلودگی‌های میکروبی و فلزی به زنجیره غذایی انسان، تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به محصولاتی که وارد زنجیره غذایی انسان نمی‌شوند بدیهی است. با توجه به اهمیت آب در صنوبرکاری از یک سو و محدودیت شدید منابع آب سطحی و زیرزمینی در بیشتر کلان‌شهرها از سوی دیگر، پذیرش رویکرد استفاده از فاضلاب و پساب‌های تولیدی در جهت توسعه زراعت چوب می‌تواند ضمن تولید چوب در سطوح وسیعی از اراضی با ظرفیت توسعه زراعت چوب و بهره‌گیری از کارکردهای زیست‌محیطی درختان، در جهت مدیریت پساب‌های تولیدی و جلوگیری از مصرف آنها در اراضی کشاورزی نیز استفاده شود. همچنین، با توجه به محدودیت منابع آبی، استفاده دوباره از فاضلاب و پساب‌های تولیدی در جهت توسعه زراعت چوب می‌تواند در مدیریت خشکسالی نیز بسیار مؤثر و کارآمد باشد. بنابراین نیاز است در مناطقی با دسترسی مناسب به آب‌های آلوده: (۱) تمهیداتی برای مدیریت و تصمیم‌گیری

۴۴ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

درمورد دفع مناسب این آب‌ها (۲) منع جدی استفاده از آنها برای آبیاری محصولات کشاورزی (۳) تشویق و حمایت کشاورزان در جهت تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به گزینه‌های مناسب دیگر (۴) شناسایی اراضی مستعد و مناسب زراعت چوب با این آب‌های آلوده، (۵) فراهم کردن زیرساخت‌های لازم برای زراعت چوب در اراضی مستعد مانند بررسی ویژگی‌های آب و خاک منطقه قبل از کاشت، تأمین نهال‌های صنوبر پربازده و مناسب (۶) استفاده از کارشناسان متخصص برای نظارت بر عملیات کاشت، داشت و برداشت و راهنمایی و هدایت کشاورزان از زمان کاشت تا برداشت محصول و در نهایت (۷) فراهم کردن بستری مناسب برای ایجاد ارتباط بین بخش صنایع چوبی به عنوان متقاضی و خریدار و کشاورز به‌عنوان تولیدکننده به منظور ترغیب و اطمینان خاطر کشاورزان از فروش محصول چوبی تولیدی در سال‌های آینده، در برنامه‌ها و سیاست‌های کاری سازمان‌ها و نهادهای متولی قرار گیرد. در پایان توجه به این نکته نیز حائز اهمیت است که استفاده دوباره از فاضلاب و پساب برای آبیاری باید در هر حالتی از نظر اقتصادی موجه و از نظر محیط‌زیستی قابل پذیرش باشد. چالش‌های محیط‌زیستی همراه با استفاده دوباره از آب‌های آلوده در آبیاری نیز می‌تواند با: (۱) جمع‌آوری، مدیریت و دفع صحیح فاضلاب و پساب‌های تولیدی (۲) اعمال پیش‌تصفیه تا تصفیه کامل بر روی فاضلاب‌های تولیدی قبل از استفاده مستقیم و رهاسازی آنها در طبیعت (۳) کنترل و پایش مستمر فاضلاب و پساب‌های تولیدی از نظر پارامترهای کمی، کیفی و بهداشتی و سطح عناصر غذایی و فلزات سنگین (۴) بهره‌گیری و رعایت استانداردها و رهنمودهای استفاده دوباره از فاضلاب و پساب به‌منظور کاهش خطرات و تأثیرات منفی بر روی سلامت بوم‌سازگان و (۵) تصمیم‌گیری در مورد کاربرد فاضلاب و پساب براساس ویژگی‌های آب، خاک و گیاه به حداقل میزان ممکن رسانده شود. امید است با حمایت کشاورزان و رفع موانع اقتصادی و اجتماعی، بتوان در نقاط مختلف کشور در اراضی کشاورزی متأثر از آب‌های آلوده، تغییر الگوی کشت به زراعت چوب را طی چندین سال متوالی عملیاتی کرد.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۴۵ در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

منابع

- اسدی، ف.، ۱۳۹۸. مبانی زراعت چوب صنوبر. مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۲۴۲ صفحه.
- باقری، ی.ر.، مسکینی ویشکایی، ف.، محمد اسماعیل، ز.، سعادت، س. و رضایی، ح.، ۱۳۹۶. ارزیابی و پهنه‌بندی خطر زیست‌محیطی فلزات سنگین خاک با استفاده از شاخص‌های آلودگی در اراضی زراعی جنوب تهران. محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، ۷۰ (۴): ۸۵۷-۸۶۸.
- بزرگمهر، ع.، مدیررحمتی، ع.ر.، قاسمی، ر. و کلاگری، م.، ۱۳۹۸. معرفی کلن‌های موفق صنوبر در شمال شرق کشور. طبیعت ایران، ۴ (۲): ۵۱-۶۳.
- بی‌نام، ۱۳۹۷. ۴۰ درصد اراضی جنوب تهران با آب آلوده آبیاری می‌شود. آدرس سایت: www.irna.ir/news/83240660/40
- تجربشی، م.، ۱۳۷۷. نهر فیروزآباد، آیا می‌توان از آن به‌عنوان یک منبع آب برای آبیاری نام برد؟. شریف، ۱۴ (۱۵): ۳۱-۳۸.
- تیموری، س.، ۱۳۹۹. تعیین اراضی مستعد زراعت چوب در حاشیه کلان‌شهرها با استفاده از آب‌های نامتعارف. طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۴۹ صفحه.
- جلیلی، ع.، ۱۳۸۶. راهبرد تأمین پایدار مواد لیگنوسلولزی ایران. انتشارات مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۱۶۵ صفحه.
- جلیلی، ع.، ۱۴۰۰. ارزیابی توان توسعه زراعت چوب در اراضی تحت آبیاری با آب نامتعارف در جنوب تهران با رویکرد تبدیل الگوی کاشت. طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، تهران، ۶۴ صفحه.
- حیدری، ا.، ۱۳۹۷. بهره‌برداری پایدار از منابع آب و فاضلاب شهری تهران. دومین کنگره علوم و مهندسی آب و فاضلاب ایران و دومین همایش ملی عرضه و تقاضای آب شرب و بهداشتی دانشگاه صنعتی اصفهان. ۲۲ - ۲۴ آبان ۱۳۹۷.

۴۶ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

راد، م.ه.، ۱۳۹۷. نیاز آبی برخی از گونه‌های مورد استفاده در جنگل‌کاری مناطق خشک و نیمه‌خشک. طبیعت ایران، ۳(۴): ۴۰-۴۷.

سهرابی، م.س.، ۱۴۰۱. بحران و تنش آبی در ایران، گزارش راهبردی، مرکز مطالعات راهبردی و آموزش وزارت کشور، شماره ۱۸، ۳۱ صفحه.

سهیلی، م.، ۱۳۷۳. تأثیر پساب در انباشتگی و انتقال عناصر سنگین در خاک‌های منطقه جنوب تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۹۲ ص.

صالحی، آ.، ۱۳۸۶. رشد و غلظت عناصر معدنی درختان کاج تهران و افاقیا، آبیاری شده با فاضلاب شهری در فضای سبز جنوب تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، ۱۱۹ صفحه.

صالحی، آ.، ۱۳۹۸. گیاه‌پالایی: فناوری پالایش خاک‌های آلوده به فلزات سنگین. فصلنامه انسان و محیط زیست، ۴۹: ۲۷-۴۲.

صالحی، آ.، ۱۳۹۹a. تعیین اراضی مستعد زراعت چوب در حاشیه کلان‌شهرها با استفاده از آب‌های نامتعارف (تهران). طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۴۶ صفحه.

صالحی، آ.، ۱۳۹۹b. رویکرد راهبردی استفاده از آب‌های نامتعارف در اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران. مجله طبیعت ایران، ۵(۵): ۲۳-۲۹.

صالحی، آ.، ۱۳۹۹c. بررسی ویژگی‌های رویشی و جذب فلزات سنگین برخی ارقام صنوبر و بید در دو محیط کشت هیدروپونیک و خاک متأثر از آب‌های نامتعارف. طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۶۲ صفحه.

صالحی، آ.، ۱۴۰۰. بررسی عملکرد تولید چوب و پتانسیل گیاه‌پالایی درختان صنوبر (*Populus nigra*) آبیاری شده با فاضلاب شهری در جنوب تهران، طرح پژوهشی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۶۵ صفحه.

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۴۷
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

صالحی، آ. و احمدلو، ف.، ۱۴۰۰. ویژگی‌های رویشی و جذب عناصر غذایی و فلزات سنگین نهال‌های دوساله سه کلن صنوبر تبریزی در خاک متأثر از آب نامتعارف. جنگل و فراورده‌های چوب، ۷۴(۴): ۴۴۵-۴۵۶.

صالحی، آ.، کلاگری، م. و احمدلو، ف.، ۱۴۰۰. تأثیر خاک و آب متأثر از پساب شهری بر عملکرد نهال‌های یک‌ساله سه کلن صنوبر تبریزی (*Populus nigra* L.). تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۹(۲): ۱۱۴-۱۲۷.

صالحی، آ.، ۱۴۰۱. امکان‌سنجی و ترویج استفاده از فاضلاب در زراعت چوب. نشریه فنی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، ۳۲ صفحه.

صالحی، آ. و احمدلو، ف.، ۱۴۰۱. بررسی عملکرد دو کلن صنوبر کیبوده رشدیافته در خاک آلوده به فلزات سنگین تحت آبیاری با فاضلاب شهری. جنگل ایران، ۱۴(۲): ۱۱۹-۱۳۳.

صالحی، آ.، احمدلو، ف.، باقری، ر.، ۱۴۰۱. رشد و جذب فلزات سنگین نهال‌های دو ساله دو کلن صنوبر کیبوده در خاک آبیاری شده با پساب شهری. تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، ۲۰(۱): ۱۴۷-۱۶۲.

عباسی، ی.، میرزایی، ف. و سهرابی، ت.، ۱۳۹۷. بررسی توزیع فلزات سنگین در خاک اراضی آبیاری شده با پساب با استفاده از روش کریجینگ و مدل هایدروس: مطالعه موردی در جنوب تهران. سلامت و محیط‌زیست، ۱۱(۳): ۳۵۱-۳۶۴.

علیجانی، ب.، هاشمی‌عنا، س.ک.، عباس‌نیا، م.، پوره‌اشمی، س.، ۱۳۹۳. واکاوای شرایط دینامیکی، ترمودینامیکی و همدیدی رخداد بارش‌های سیل‌آسای ناحیه بسیار کم بارش جنوب شرقی ایران. جغرافیا و پایداری محیط، ۴(۴): ۱۳-۲۸.

فصیحی، ح.، ۱۳۹۳. بررسی منابع و پیامدهای جریان فاضلاب‌های شهری و صنعتی در روستاهای بخشی از حریم جنوبی تهران. پژوهش‌های روستایی، ۵(۴): ۹۱۱-۹۳۶.

۴۸ / راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

کلاگری، م.، صالحی شانجانی، پ.، بانج‌شفیعی، ش.، ۱۳۹۶. مقایسه رشد دو گونه صنوبر (*Populus alba* و *Populus euphratica*) و هیبرید بین آنها در عرصه شور و غیر شور. مجله پژوهش‌های گیاهی، ۳۰ (۱): ۱-۱۲.

کلاگری، م.، میرآخورلو، خ.، صالحی، آ.، احمدلو، ف.، تیموری، س.، جعفری، ا.، اسکندری، س.، باقری، ر.، عراقی، م.ک.، خدایی، م.ب.، قاسمی، ر.، ۱۴۰۱. اجرای برنامه ملی توسعه زراعت چوب ضرورتی برای حفاظت جنگل‌ها و تأمین مواد اولیه چوبی کشور. طبیعت ایران، ۷: ۹-۱۹.

مدیررحمتی، ع.ر.، ۱۳۹۵. توسعه زراعت چوب ضرورتی اجتناب‌ناپذیر و حیاتی برای کشور. طبیعت ایران، ۱: ۱۴-۲۱.

مردانی، گ.، صادقی، م. و آهنکوب، م.، ۱۳۸۹. بررسی آلودگی خاک‌های منطقه جنوب تهران در مسیر رواناب‌های سطحی به فلزات سنگین. یادداشت فنی، آب و فاضلاب، ۳: ۱۰۸-۱۱۳.

یزدانیخس، ا.ر.، اسلامی، ا. و رضایی، س.، ۱۳۹۴. بررسی کیفیت رواناب سطحی کانال فیروزآباد شهر تهران برای مصارف آبیاری. بهداشت در عرصه، ۳(۳): ۱۹-۲۶.

Angelakis, A.N. and Spyridakis, S., 1996. The status of water resources in Minoan times, a preliminary study, diachronic climatic impacts on water resources in Mediterranean region. Springer-Verlag, Heidelberg, Germany, 111-113.

Goliński, P., Młeczek, M., Magdziak, Z., Gąsecka, M., Borowiak, K., Dąbrowski, J., Kaczmarek, Z., Rutkowski, P., 2015. Efficiency of Zn phytoextraction, biomass yield and formation of low-molecular-weight organic acids in *Saxifraga rubens* - a hydroponic experiment. Chemistry and Ecology, 31: 345-364.

Houda, Z., Bejaoui, Z., Albouchi, A., Gupta, D. K., Corpas, F.J., 2016. Comparative study of plant growth of two poplar tree species irrigated with treated wastewater, with particular reference to accumulation of heavy metals (Cd, Pb, As, and Ni). Environmental Monitoring and Assessment: 188, 99.

Maanan, M., Saddik, M., Maanan, M., Chaibi, M., Assobhei, O. and Zourarah, B., 2014. Environmental and ecological risk assessment of heavy metals in sediments of Nador lagoon, Morocco. Ecological Indicators, 48: 616-626.

Mataruga, Z., Jarić, S., Marković, M., Pavlović, M., Pavlović, D., Jakovljević, K., Mitrović, M., Pavlović, P., 2020. Evaluation of *Salix alba*, *Juglans regia* and *Populus nigra* as biomonitors of PTEs in the riparian soils of the Sava River. Environmental Monitoring and Assessment, 192, 131.

Młeczek, M., Rutkowski, P., Kaniuczak, J., Szostek, M., Budka, A., Magdziak, Z., Budzyńska, S., Kuczyńska-Kippen, N., Niedzielski, P., 2019. The significance of

راهنمای تغییر الگوی کشت از محصولات کشاورزی به زراعت چوب / ۴۹
در اراضی متأثر از فاضلاب و پساب‌های شهری در کلان‌شهرها

- selected tree species age in their efficiency in elements phytoextraction from wastes mixture. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16: 3579-3594.
- Nabizadeh, R. Mahvi, A., Mardani, G. and Yunesian, M., 2005. Study of heavy metals in urban runoff. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1(4): 325-333
- Nissim, W.G., Jerbi, A., Lafleur, B., Fluet, R., Labrecque, M., 2015. Willows for the treatment of municipal wastewater: Performance under different irrigation rates. *Ecological Engineering*, 8: 395-404.
- Rattan, R.K., datta, s.p., chhonkar, p.k., suribabu, k. and singh, a.k., 2005. long-term Impact of Irrigation with Sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater a case study. *agriculture, ecosystems and environment*, 109: 310-322.
- Rinklebe, J., Antoniadis, V., M. Shaheen, S., Rosche, O. and Altermann, M., 2019. Health risk assessment of potentially toxic elements in soils along the Central Elbe River, Germany. *Environment International*, 126: 76-88.
- Salehi, A., & Shariat, A. 2024. Comparative performance of *Populus spp.* and *Salix spp.* for growth, nutrition, and heavy metal uptake in a wastewater hydroponic system. *International Journal of Phytoremediation*, 26(9): 1369-1378.
- Salehi, A., Calagari, M. & Teimouri, S. 2024. Performance of poplars and willow grown on soil under wastewater irrigation during the first 2 years of establishment. *Environmental Science and Pollution Research*, In Press.
- Salehi, A., Zalesny, R.S., & Calagari, M. 2023. Effects of urban wastewater application on growth, biomass, nutrition, and heavy-metal accumulation of *Populus nigra* L. "62/154," *P. alba* L. "20/45," *P. euramericana* (Dode) Guinier "92/40," and *Salix excelsa* S.G. Gmel grown in heavy-metal contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 25(10): 1371-1383.
- Sharma, R.K., Agrawal, M. and Marshall, F., 2007. Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi. India. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 66: 258-266.
- Toze, S., 2006. reuse of effluent water-benefits and risks. *agricultural water management*, 80: 147-159.
- Utmazian, M.N.D., Wieshammer, G., Vega, R. and Wenzel, W.W., 2007. Hydroponic screening for metal resistance and accumulation of cadmium and zinc in twenty clones of willows and poplars. *Environmental Pollution*, 148: 155-165.
- Zupanc, V., Justin, M.Z., 2010. Changes in soil characteristics during landfill leachate irrigation of *Populus deltoides*. *Waste Management*, 30: 2130-2136.