

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

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

امکان‌سنجی کاشت صنوبر تبریزی در اراضی متأثر از تنش شوری

آزاده صالحی
عضو هیات علمی مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور

۱۴۰۳

عنوان پروژه‌های منتج به نشریه فنی	کد مصوب
بررسی عملکرد تولید چوب و پتانسیل گیاه‌پالایی درختان صنوبر (<i>Populus nigra</i>) آبیاری شده با فاضلاب شهری در جنوب تهران	۲-۰۹-۰۹-۹۵۱۱۵
تأثیر همزیستی با قارچ‌های میکوریز آربوسکولار بر پاسخ‌های رویشی صنوبر تبریزی (<i>Populus nigra</i>) تحت تنش شوری	۲-۰۹-۰۹-۱۲-۹۹۰۳۱۶



عنوان نشریه فنی: امکان‌سنجی کاشت صنوبر تبریزی در اراضی متأثر از تنش شوری نگارش:

آزاده صالحی – استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

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

مدیر داخلی: فاطمه عباسپور

ویراستار ادبی: مریم معصوم تمیمی

صفحه آرا: مریم نوبخت

نوبت چاپ: اول - ۱۴۰۳

شمارگان: الکترونیکی

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

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

این نشریه به شماره ۶۶۳۲۰ در تاریخ ۱۴۰۳/۰۸/۲۲ در مرکز اطلاعات و مدارک علمی کشاورزی به ثبت رسیده است.

➤ مخاطبان نشریه

بهره‌برداران و کشاورزان پیشرو، مروجین و کارشناسان مراکز آموزشی، پژوهشی و اجرایی وابسته به وزارت جهاد کشاورزی

➤ اهداف آموزشی

بررسی کشت صنوبر تبریزی در خاک‌های با شوری متوسط و بالا

فهرست

۱	چکیده
۲	مقدمه
۴	زراعت چوب با صنوبرها
۶	صنوبر تبریزی
۷	خاک‌های شور
	امکان سنجی کاشت صنوبر تبریزی در اراضی متأثر از تنش شوری براساس نتایج حاصل
۹	از پروژه‌های تحقیقاتی
۱۹	نتیجه‌گیری
۱۹	توصیه‌های فنی
۲۱	منابع

چکیده

شوری خاک در میان متغیرهای غیرزیستی، ازجمله موارد مهمی است که می‌تواند تحت تأثیر عوامل طبیعی و مصنوعی ایجاد شود. در خاک‌های متأثر از تنش شوری، فشار اسمزی در محلول خاک افزایش می‌یابد و این امر بر روابط آبی و تبادلات یونی گیاه تأثیرگذار است. در گیاهان تحت تنش شوری، تنش‌های آبی و یونی و درنهایت کاهش فتوسنتز و رشد و نمو گیاهی اتفاق می‌افتد. در بسیاری از مناطق ایران، منابع آب و خاک در درجات مختلفی با مشکل شوری مواجه هستند و مدیریت بهره‌برداری از این منابع و تأثیر آنها بر عملکرد گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. صنوبرها با تنوع گونه‌ای بالا و گسترش اکولوژیکی وسیع یکی از گونه‌های درختی مهم برای توسعه زراعت چوب در نقاط مختلف کشور می‌باشند. گونه‌های مختلف صنوبر نسبت به تنش شوری پاسخ‌های متفاوتی را نشان داده‌اند. گزارش‌های اندکی در زمینه دامنه تحمل به تنش شوری کلن‌ها و ارقام مختلف صنوبر تبریزی وجود دارد. با توجه به تأثیرات منفی تنش شوری بر عملکرد تولید در زراعت چوب، توجه به دامنه تحمل به تنش شوری گونه موردکاشت اهمیت دارد. نتایج حاصل از دو پروژه تحقیقاتی در زمینه تأثیر آبیاری با آب شور و کاشت در خاک شور بر نهال‌ها و درختان صنوبر تبریزی- رقم سالاری نشان داد، درکل این رقم صنوبر تبریزی نسبت به تنش شوری حساس است و تنش شوری در خاک می‌تواند عملکرد تولید این گونه صنوبر را کاهش دهد. بنابراین، به کشاورزان و بهره‌برداران محترم توصیه می‌شود قبل از عملیات کاشت با این گونه صنوبر، به منابع آب و خاک عرصه موردنظر و مدیریت بهره‌برداری از این منابع توجه کافی نمایند.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، زراعت چوب، شوری، صنوبر

مقدمه

یکی از عوامل محدودکننده رشد و توسعه گیاهان مرتبط با ویژگی‌های خاک، شوری خاک است که با تجمع املاح در خاک تحت تأثیر عوامل مختلف به وجود می‌آید (صالحی و همکاران، ۱۳۹۷). شوری بالا در خاک، فشار اسمزی را در محلول خاک افزایش می‌دهد، در نتیجه بر روابط آبی و تبادلات یونی گیاه تأثیرگذار خواهد بود. گیاهان با قرارگیری در معرض شوری، ابتدا تنش آبی را تجربه می‌کنند که به کاهش توسعه برگ‌ها می‌انجامد. در صورتی که گیاه مدت طولانی در معرض تنش شوری قرار گیرد، تنش یونی و در نهایت کاهش فتوسنتز و رشد و نمو گیاهی اتفاق می‌افتد (Kets et al., 2010). پاسخ‌های متعددی از گونه‌های گیاهی مختلف و حتی جنس‌های نر و ماده یک گونه گیاهی نسبت به تنش شوری گزارش شده است (Li et al., 2013). در اغلب گیاهانی که تحت شرایط تنش شوری رشد می‌کنند، غلظت‌های بالایی از یون‌های سدیم و کلر در اندام‌های گیاهی تجمع می‌کنند (Chen & Polle, 2010). تأثیر اولیه غلظت‌های یونی بالا اختلال هموستاز درون‌سلولی است که منجر به تضعیف فعالیت متابولیکی و اختلال عملکرد غشای سلولی می‌شود، به همراه یک‌سری تأثیرات ثانویه که حتی می‌تواند منجر به مرگ سلول شود (Kaya et al., 2007). تحت تنش شوری، حفظ غلظت کم یون‌های سمی در اندام برگ برای زنده‌مانی و رشد گیاه ضروری است (Wu et al., 2016). درواقع، نرخ پایین انتقال سدیم و کلر از ریشه به اندام هوایی می‌تواند توانایی مقابله گیاه را با تنش شوری افزایش دهد. مطالعات پیشین نشان داده‌اند، بسیاری از گیاهان مقاوم به شوری از قبیل *P. euphratica* (Janz et al., 2012)، گیاهان هالوفیتی *Thellungiella salsuginea* و *Cakile maritime* (Ellouzi et al., 2014) و یونجه (Bertrand et al., 2015) به‌طور مؤثری از جذب سدیم و کلر تحت شرایط تنش شوری جلوگیری می‌کنند.

جنس صنوبر (*Populus spp.*) با تنوع گونه‌ای بالا و گسترش اکولوژیکی وسیع و نیز با توجه به تأمین مواد اولیه چوبی برخی صنایع چوب و کاغذ از نظر تجاری مهم می‌باشد (Xiao et al., 2009). تنش شوری در صنوبرها می‌تواند کاهش فتوسنتز، متابولیسم و رشد به‌همراه یک‌سری تغییرات فیزیولوژیکی و جذب و تجمع عناصر غذایی را به‌همراه داشته باشد (Zhang et al., 2019؛ Ba'rzana et al., 2012). گونه‌های مختلف صنوبر پاسخ‌های متفاوتی را به تنش شوری نشان داده‌اند. به‌طوری‌که صنوبر *P. euphratica* به‌عنوان صنوبر مقاوم به شوری خاک و صنوبرهایی نظیر *P. cathayana* و *P. canescens*، *P. popularis*، *P. euramericana* به‌عنوان صنوبرهای حساس به شوری در اغلب مطالعات گزارش شده‌اند (Chen et al., 2002, 2003؛ Bolu & Polle, 2004؛ Yang et al., 2009). طبق نتایج به‌دست‌آمده میزان تجمع یون‌های شوری سدیم در اندام هوایی صنوبرهای حساس به شوری در مقایسه با گونه‌های مقاوم بیشتر می‌باشد، این امر نشان می‌دهد، گیاهان مقاوم به شوری نسبت به گونه‌های حساس به‌طور کارآمدتر از انتقال سدیم به اندام هوایی جلوگیری می‌کنند (Janz et al., 2012).

مطالعات اندکی درمورد دامنه تحمل به تنش شوری کلن‌های مختلف صنوبر تبریزی (*P. nigra*) موجود است. در اغلب پژوهش‌های انجام‌شده این گونه صنوبر به‌عنوان گونه‌ای با مقاومت پایین به شوری گزارش شده است (Kogawara et al., 2014؛ Carpenter, 1970). نتایج مطالعه Kulczyk-Skrzeszewska و Kieliszewska-Rokicka (۲۰۲۲) نشان داده است، در سطوح بالای تنش شوری، مقادیر زیادی از یون‌های شوری (سدیم و کلر) در برگ‌های *P. nigra* مانند گونه‌ها و هیبریدهای صنوبر حساس به تنش شوری تجمع پیدا کرد. با این وجود، این گونه صنوبر قادر بود برخی مکانیسم‌های دفاعی را در پاسخ به تنش شوری نظیر

افزایش غلظت یون کلسیم و افزایش تولید پرولین در سطوحی مشابه با مقادیر ثبت‌شده برای صنوبرهای مقاوم به شوری فعال نماید.

از آنجایی که خاک‌های شور، سطح وسیعی از خاک‌های کشور را تشکیل می‌دهند و شور شدن فزاینده خاک‌ها می‌تواند به میزان زیادی کشت گونه‌های صنوبر را محدود سازد، تعیین دامنه تحمل به تنش شوری گونه‌ها و کلن‌های مختلف صنوبر می‌تواند راهنمای خوبی برای زراعت آنها در اراضی متأثر از تنش شوری باشد. بنابراین، هدف از این نوشتار، امکان‌سنجی کشت صنوبر تبریزی- رقم سالاری ("*P. nigra* 62/154") در اراضی متأثر از تنش شوری براساس یافته‌های حاصل از دو پروژه تحقیقاتی می‌باشد.

زراعت چوب با صنوبرها

جنگل‌ها کامل‌ترین، با ارزش‌ترین و متنوع‌ترین پوشش گیاهی زمین را تشکیل می‌دهند که در طی میلیون‌ها سال تکامل جوامع گیاهی شکل گرفته‌اند. افزایش جمعیت انسانی، تعادل و تناسب حضور انسان و بهره‌برداری‌های بی‌رویه، عرصه‌های جنگلی را دچار مخاطره نموده و فشار بسیاری را به این عرصه‌های طبیعی وارد کرده است. ایران در منطقه‌ای قرار گرفته که سهم اراضی جنگلی آن ناچیز است و از جمله کشورهای کم‌برخوردار از جنگل محسوب می‌شود و در طی چند دهه اخیر به دلایل متعدد همچون بهره‌برداری‌های بی‌رویه، توسعه شهرها و تأسیسات شهری و صنعتی با کاهش جدی سطح جنگل‌ها مواجه بوده است. با توجه به شرایط موجود و ارزش‌های متعدد محیط زیستی جنگل‌ها، برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌گذاری‌های موجود باید هم‌سو با کاهش برداشت چوب از عرصه‌های جنگلی باشد و برای تأمین نیازهای چوبی کشور راهکارهای مناسب دیگری نظیر زراعت چوب اتخاذ شود (کلاگری و همکاران، ۱۴۰۱؛

صالحی، ۱۴۰۱). جنس صنوبر (*Populus spp.*) از خانواده Salicaceae دارای بیش از ۳۰ گونه است. چهار گونه صنوبر تبریزی (*P. nigra*)، کبوده (*P. alba*)، پده (*P. euphratica*) و سفیدپلت (*P. caspica*) به‌صورت طبیعی، یا بومی‌شده در ایران حضور دارند و از دهه ۱۳۴۰ شمسی نیز بسیاری از گونه‌ها و کلن‌های صنوبر غیربومی با عملکرد رویشی بالا به کشور وارد و در عرصه‌های تحقیقاتی ارزیابی شده‌اند (اسدی، ۱۳۹۹). صنوبرها به‌دلیل تندرشد بودن و تولید زی‌توده بالا، سازگاری خوب و توزیع گسترده جغرافیایی (Zhang et al., Sixto et al., 2005؛ Salehi et al., 2022؛ 2019)، در سراسر جهان از گونه‌های درختی موردتوجه در زراعت چوب می‌باشند. صنوبر به‌عنوان یک گونه درختی تندرشد چوب‌ده از دیرباز توسط روستاییان در اغلب مناطق ایران در قالب زراعت چوب، حاشیه مزارع و بادشکن‌ها کشت شده است. درختان صنوبر در تأمین مواد اولیه چوبی صنایع کاغذسازی، تخته‌خرده‌چوب، ام‌دی-اف، روکش، کبریت، میز و صندلی و جعبه‌سازی نقش مهمی دارند. برای تولیدات غیرچوبی این درختان نظیر 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، احیای اکوسیستم‌های شکننده، مبارزه با گسترش بیابان‌ها و بازسازی چشم‌اندازهای جنگلی نیز دارای ارزش‌های فراوانی هستند (اسدی، ۱۳۹۹). به‌طورکلی زراعت چوب و کشت و کار با درختان صنوبر به‌دلیل رشد سریع، تولید زی‌توده بالا، دوره بهره‌برداری کوتاه‌مدت، کاربرد گسترده چوب آنها در صنایع مختلف و نیز با توجه به ریشه‌های سنتی و تاریخی زراعت آنها در کشور، از گونه‌های بدون رقیب در برنامه‌های اقتصادی تولید چوب خارج از جنگل به‌شمار می‌آید.

صنوبر تبریزی

صنوبر تبریزی در جهان پراکنش وسیعی دارد و بیشترین مساحت صنوبرهای جهان را به خود اختصاص می‌دهد (Herpka, 1986). در اروپا این گونه را می‌توان تا شمال جزایر بریتانیا و در پایین تا سواحل مدیترانه پیدا کرد. در منتهی‌الیه جنوبی دامنه پراکنش، این گونه در بخش‌هایی از آفریقای شمالی و خاورمیانه یافت می‌شود و دامنه پراکنش آن در قسمت شرقی تا قزاقستان و چین امتداد دارد (Imbert & Lefevre, 2003). همچنین، در هند در عرض‌های شمالی ۲۶ تا ۲۹ درجه کاشته می‌شود، این گونه در آمریکای شمالی و جنوبی نیز بومی‌سازی شده است (Praciak *et al.*, 2013). در جنگل‌های آمیخته نیز به‌همراه صنوبر کبوده، بید، توسکا، افرا، نارون و بلوط دیده شده است (Cagelli & Lefevre, 1995). این گونه در ایران در منطقه ارسباران و حیران، دامنه‌های جنوبی البرز، بختیاری، سروستان و در نقاط دیگر در کنار نهرها و جویبارها به‌صورت خودرو دیده می‌شود (ثابتی، ۱۳۷۳). صنوبر تبریزی یک درخت خزان‌کننده تندرشد است که ارتفاع آن می‌تواند به ۴۰ متر و قطر تنه آن تا ۲ متر برسد. درختان بالغ می‌توانند تا ۱۰۰ سال و حتی در مواردی تا ۴۰۰-۳۰۰ سال به حیات خود ادامه دهند (Praciak *et al.*, 2013). تاج درختی این گونه در وارپته‌ها و کلن‌های مختلف، متفاوت است. پوست آن قهوه‌ای تیره یا سیاه و دارای شکاف‌های متعدد است. برگ‌ها در این گونه از نظر اندازه و شکل متغیر اما معمولاً سبز و براق هستند (Mitchell, 1974). میوه آن کپسول و شکوفایی آن از دو شکاف صورت می‌گیرد. گل‌ها قبل از رشد شاخه و برگ ظاهر می‌شوند (Vanden Broeck *et al.*, 2003). این گونه می‌تواند به‌صورت زایشی (از طریق بذرها) پراکنده در آب یا باد، یا رویشی (از طریق قلمه) تولیدمثل کند (Vanden Broek, 2003). کلن‌ها، وارپته‌ها و هیبریدهای بسیار زیادی از این گونه وجود دارد که طبقه‌بندی آن را مشکل می‌سازد

(Šiler et al., 2014). این گونه به‌عنوان یک گونه درختی پیشگام نسبت به خشک‌سالی و سایه بردبار نیست (Praciak et al., 2013)، ولی تحمل خوبی نسبت به سطوح بالای آب و درجه حرارت بالا در طول تابستان دارد (Šiler et al., 2014). این گونه از نظر اقتصادی گونه درختی بسیار باارزشی است. همچنین به‌عنوان یک ذخیره والد (parent pool) برای برنامه‌های اصلاح نژاد در سراسر اروپا به‌ویژه برای تولید هیبرید صنوبر اورامریکن استفاده می‌شود (Cervera et al., 2001). این گونه در اکوسیستم‌های دشت سیلابی اغلب به‌صورت بادشکن دیده می‌شود، در حاشیه رودخانه‌ها برای کنترل فرسایش، همچنین در خدمات اکوسیستمی نظیر تثبیت خاک و حفاظت از حوزه‌های آبخیز از ارزش اکولوژیکی بالایی برخوردار است (Norris et al., 2008; de Rigo et al., 2016).

خاک‌های شور

خاک شور به خاکی گفته می‌شود که در آن مقادیر زیادی از نمک‌ها و املاح وجود دارد و این امر می‌تواند بر کاهش قدرت باروری خاک و رشد و عملکرد اغلب گیاهان تأثیر منفی بگذارد. خاک‌ها یا به‌صورت طبیعی، یا بر اثر فعالیت‌های انسان شور می‌شوند. عوامل طبیعی شامل بارندگی کم، تبخیر زیاد، جنس تشکیلات زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی شور و غیره می‌باشد. از عوامل مصنوعی می‌توان به آبیاری بی‌رویه با آب‌های شور، استفاده از کودهای شیمیایی و کودهای حیوانی شور، تخریب پوشش گیاهی و غیره اشاره کرد (زهتابیان و همکاران، ۱۳۸۵؛ حسینی و همکاران، ۱۳۸۷). تمام خاک‌ها کم‌وبیش دارای مقداری نمک می‌باشند، زیرا خاک‌ها از هوازدگی سنگ‌ها به وجود می‌آیند و سنگ مادر از همان ابتدا دارای مقادیری نمک است. در خاک‌های شور نمک‌های محلول متعددی شامل NaCl ، Na_2SO_4 ،

▲ / امکان‌سنجی کاشت صنوبر تبریزی در اراضی متأثر از تنش شوری

MgSO₄، CaSO₄ و MgCl₂ وجود دارد، اما نمک NaCl با ۵۰ تا ۸۰ درصد از کل نمک‌های محلول در خاک، رایج‌ترین نمکی است که در خاک‌ها تجمع می‌کند (Munns & Tester, 2008؛ He et al., 2021). سطح اراضی متأثر از شوری بیش از ۸۰۰ میلیون هکتار و معادل شش درصد از سطح خشکی‌های کره زمین گزارش شده است (راد و همکاران، ۱۳۹۹؛ Munns & Tester, 2008). همچنین از کل ۱۶۵ میلیون هکتار اراضی کشور ایران، حدود ۴۴/۵ میلیون هکتار آن در درجات مختلف، شور هستند. حتی در برخی منابع درصد اراضی شور ایران ۵۰ درصد ذکر شده است (ساداتی و همکاران، ۱۳۹۷). به‌طوری‌که در بسیاری از مناطق مرکزی، جنوب، شرق و جنوب‌شرقی ایران، منابع آب و خاک در درجات مختلفی با مشکل شوری مواجه‌اند، ولی در برخی استان‌ها مانند اصفهان و یزد با اعمال مدیریت‌های مناسب آبیاری و زراعی، سعی شده است به‌نحو مطلوبی از این منابع بهره‌برداری شود (فیضی و سعادت، ۱۳۹۴). برای اصلاح خاک‌های متأثر از شوری، روش‌های مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی وجود دارد که یافتن روش مناسب و اقتصادی در مدیریت خاک‌های شور چالش بزرگ پژوهشگران است (اکرم و همکاران، ۱۳۸۱).

معیار تشخیص شوری خاک، هدایت الکتریکی یا EC خاک است، این پارامتر تابع درصد نمک موجود در خاک است. خاک‌ها از نظر شوری به پنج دسته کلی تقسیم می‌شوند (Hardie & Doyle, 2012):

خاک‌های غیرشور: هدایت الکتریکی در این خاک‌ها بین ۰-۲ دسی‌زیمنس بر متر است، این خاک‌ها مناسب پرورش اغلب گیاهان هستند.

خاک‌های با شوری کم: هدایت الکتریکی در این خاک‌ها بین ۲-۴ دسی‌زیمنس بر متر است، این خاک‌ها موجب کاهش عملکرد گیاهان حساس به شوری می‌شوند.

امکان‌سنجی کاشت صنوبر تبریزی در اراضی متأثر از تنش شوری / ۹

خاک‌های با شوری متوسط: هدایت الکتریکی در این خاک‌ها بین ۸-۴ دسی‌زیمنس بر

متر است، این خاک‌ها موجب کاهش محصول اغلب گیاهان می‌شوند.

خاک‌های با شوری زیاد: هدایت الکتریکی در این خاک‌ها بین ۱۶-۸ دسی‌زیمنس بر متر

است، فقط گیاهان مقاوم به شوری قادر به رشد در این خاک‌ها هستند.

خاک‌های با شوری شدید: هدایت الکتریکی در این خاک‌ها بین ۳۲-۱۶ دسی‌زیمنس بر

متر است، این خاک‌ها در عمل برای اغلب گیاهان قابل کشت نیستند.

امکان‌سنجی کاشت صنوبر تبریزی (در اراضی متأثر از تنش شوری براساس نتایج حاصل از پروژه‌های تحقیقاتی)

از گزارش‌های منتشرشده و تحقیقات انجام‌شده در زمینه تأثیر شوری خاک بر عملکرد صنوبرها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: در مطالعه گلخانه‌ای انجام‌شده توسط دانشور و مدیررحمتی (۱۳۸۸)، صنوبرهای بررسی‌شده براساس مقاومت به تنش شوری به طبقات خیلی حساس (*P. deltoides*)، حساس (*P. euramericana*)، نیمه‌حساس (*P. nigra*) و نیمه‌متحمل (*P. alba*) طبقه‌بندی شدند. مطالعه ساداتی و طبری (۱۳۹۷) روی نهال‌های سفیدپلت نشان داد، تنها در مناطق ساحلی یا جنگل‌های تخریب‌یافته جلگه‌ای شمال کشور، که شوری خاک تا ۵۰ میلی‌مولار است، می‌توان به کاشت نهال سفیدپلت اقدام کرد. کلاگری و همکاران (۱۳۹۶) نیز با بررسی رشد چهار کلن صنوبر (*P. euphratica*، *P. alba* “44/9”، *P. alba* “58/57” و *P. alba* “44/9” $\times$ *P. euphratica*) در عرصه‌های شور ایستگاه گرمسار گزارش کردند، صنوبرهای پده و مفید تحمل بالایی نسبت به تنش شوری داشتند، بنابراین، این صنوبرها می‌توانند در خاک شور رشد مناسبی داشته باشند. همچنین، در مطالعه دیگری پارسادوست و همکاران (۱۴۰۰) صنوبر پده را به‌عنوان صنوبر مقاوم به شرایط تنش شوری توصیه کردند. در

مطالعه Chen و همکاران (۲۰۰۲) مقدار تجمع یون کلر در اندام برگ *P. euphratica* (صنوبر مقاوم به شوری) و *P. tomentosa* (صنوبر حساس به شوری) به ترتیب ۳ و ۲۷ برابر مقدار آن نسبت به گیاهان شاهد گزارش شد. Imada و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر شوری را بر رشد و تجمع و پویایی عنصر سدیم در اندام‌های گیاهی صنوبر کبوده بررسی کردند و نشان دادند، این گونه صنوبر با تجمع سدیم در اندام‌های گیاهی تحت سطوح متوسط شوری، می‌تواند گزینه خوبی برای پالایش خاک‌هایی با شوری متوسط باشد. صنوبر تبریزی در مطالعه Kogawara و همکاران (۲۰۱۴) به عنوان گونه‌ای با مقاومت پایین به شوری معرفی شد.

همچنین نتایج مطالعه Kulczyk-Skrzeszewska و Kieliszewska-Rokicka (۲۰۲۲) روی صنوبر تبریزی نشان داد، در سطوح بالای تنش شوری، مقادیر زیادی از یون‌های شوری (سدیم و کلر) در برگ‌های *P. nigra* به مانند گونه‌ها و هیبریدهای صنوبر حساس به تنش شوری تجمع پیدا کرد. با این وجود، این گونه صنوبر قادر بود برخی از مکانیسم‌های دفاعی را در پاسخ به تنش شوری (نظیر افزایش غلظت یون کلسیم و افزایش تولید پرولین در سطوحی مشابه با مقادیر ثبت شده برای صنوبرهای مقاوم به شوری) فعال نماید.

به طور کلی گونه‌های مختلف صنوبر از نظر مقاومت به تنش شوری و آسیب‌پذیری از شوری خاک عملکردهای متفاوتی را از خود نشان داده‌اند. به طوری که هدایت الکتریکی یک دسی‌زیمنس بر متر برای صنوبر اورامریکن و شش دسی‌زیمنس بر متر برای صنوبر پده بدون ایجاد اختلالات رویشی گزارش شده است (دانشور و مدیررحمتی، ۱۳۸۸). همچنین مطالعه کلاگری و همکاران (۱۳۹۶) نشان داد، کلن‌ها و هیبریدهای مختلف صنوبر رشدیافته در عرصه‌های شور از نظر صفات رویشی تفاوت‌های معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در گونه‌های مختلف صنوبر اشکال مختلفی از آسیب ناشی از تنش شوری شامل کاهش و بازدارندگی رشد،

آسیب به اندام برگ، اختلالات فیزیولوژیکی مرتبط با عملکردهای متابولیکی گیاه و تغییر در جذب و تجمع عناصر غذایی در اندام‌هایی گیاهی مشاهده شده است (Chen & Polle, 2010). مطالعات اندکی درمورد تأثیر تنش شوری روی گونه صنوبر تبریزی گزارش شده است، به‌طوری‌که در مطالعه Lumis و همکاران (۱۹۷۳)، صنوبر تبریزی به‌عنوان یک گونه مقاوم به شوری و در مطالعات Carpenter (۱۹۷۰)، Pellett (۱۹۷۲) و Kogawara و همکاران (۲۰۱۴) صنوبر تبریزی به‌عنوان گونه‌ای با درجه پایینی از مقاومت به شوری گزارش شده است. در دو پروژه تحقیقاتی انجام‌شده در مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، عملکرد نهال‌ها و درختان صنوبر تبریزی - رقم سالاری در اراضی متأثر از تنش شوری (آبیاری با آب شور و خاک شور) بررسی شد که نتایج آن در ادامه ارائه می‌شود.

در یک پروژه، طی یک مطالعه گلدانی در قالب طرح کاملاً تصادفی پاسخ‌های رویشی رقم پرمحصول صنوبر تبریزی - سالاری ("*P. nigra* 62/154") به سطوح مختلف تنش شوری (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بررسی شد. هدایت الکتریکی خاک برای پنج سطح شوری فوق به‌ترتیب ۱/۶، ۳/۴، ۷/۱، ۱۰/۶ و ۱۳/۲ دسی‌زیمنس بر متر بود. این مطالعه با هدف بررسی پاسخ‌های رویشی صنوبر تبریزی به آبیاری با آب شور برای پتانسیل‌سنجی استفاده از پساب‌های صنعتی، یا زهاب‌های کشاورزی شور به‌عنوان آب آبیاری در زراعت چوب با این گونه صنوبر انجام شد. به این منظور، قلمه‌های صنوبر از خزانه تحقیقاتی بخش تحقیقات صنوبر در ایستگاه تحقیقاتی البرز تهیه و در گلدان‌های پرشده با خاکی با بافت لومی - رسی کاشته شدند. در ابتدا، قلمه‌های صنوبر به مدت سه ماه تحت شرایط آبیاری با آب معمولی رشد کردند. پس از طی این دوره، تنش شوری با استفاده از آبیاری با آب شور (تولید محلول آب شور براساس سطوح شوری ذکرشده با نمک NaCl) در فصل رشد به مدت شش هفته با دور آبیاری دو بار در

هفته و به‌صورت کاملاً یکسان از نظر مقدار آب برای تمامی تیمارها با استفاده از پارچ پلاستیکی مدرج یک لیتری روی نهال‌های صنوبر تبریزی اعمال شد. نتایج نشان داد، اعمال تنش شوری (به‌جز سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار) روی نهال‌های صنوبر تبریزی با کاهش معنی‌دار زنده‌مانی، متغیرهای رشد (قطر و طول ساقه) و تولید زی‌توده (زی‌توده خشک ریشه، ساقه و برگ و زی‌توده خشک کل) همراه بود. به‌طوری‌که بیشترین قطر و ارتفاع ساقه و تولید زی‌توده (ریشه، ساقه، برگ و کل گیاه) در سطوح شوری ۰ و ۵۰ میلی‌مولار و کمترین قطر و ارتفاع ساقه و تولید زی‌توده (ریشه، ساقه، برگ و کل گیاه) در سطح شوری ۲۰۰ میلی‌مولار مشاهده شد. درواقع، نهال‌های صنوبر تبریزی در سطح شوری ۵۰ میلی‌مولار به‌خوبی نهال‌های تیمار شاهد رشد کردند.

درمقابل، در سطوح شوری ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار، کاهش زنده‌مانی، رشد و تولید زی‌توده نسبت به نهال‌های شاهد مشاهده شد. به‌طورکلی، سطوح شوری ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار برای نهال‌های صنوبر تبریزی قابل تحمل نبود. سطح شوری ۱۰۰ میلی‌مولار برای نهال‌های صنوبر تبریزی قابل تحمل، ولی با کاهش زنده‌مانی و متغیرهای رویشی همراه بود (جدول ۱ و شکل ۱). با توجه به کاهش زی‌توده ریشه نهال‌های صنوبر تبریزی در سطوح بالای تیمار شوری، می‌توان گفت سیستم ریشه در تعامل با تنش شوری دچار آسیب شد. درواقع، سیستم ریشه در گیاهان مقاوم به تنش شوری، مرفولوژی خود را برای افزایش توانایی جذب و زنده‌مانی گیاه از طریق افزایش طول و سطح ریشه تنظیم می‌کند و درنتیجه مرفولوژی بهتر ریشه منجر به مقاومت بهتر گیاه نسبت به تنش شوری می‌شود.

جدول ۱. متغیرهای رشد و تولید زی‌توده نهال‌های صنوبر تبریزی (میانگین $\pm$ اشتباه معیار) تحت تأثیر سطوح مختلف تیمار شوری

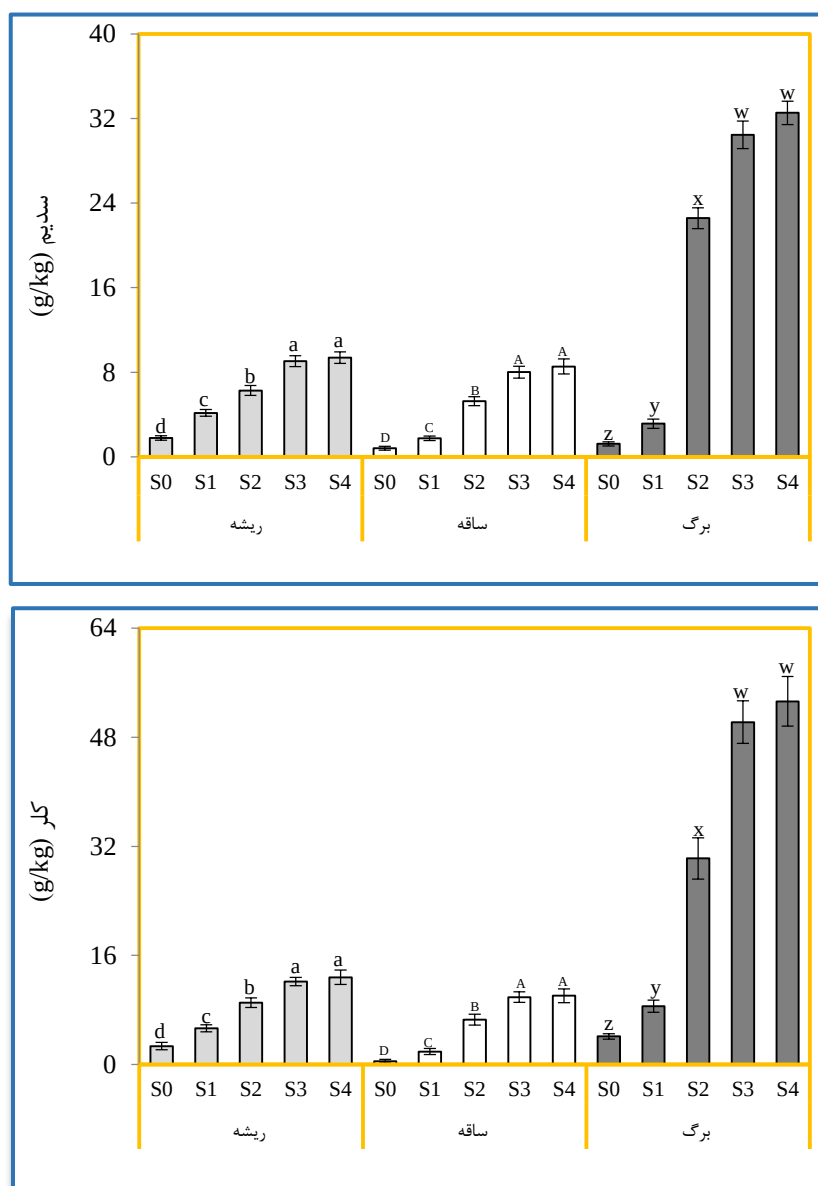
متغیر	سطوح شوری (mM)				
	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰	۰
زنده‌مانی (%)	۵۱/۵۰ c	۵۶/۳۶ c	۸۰/۵۵ b	۱۰۰ a	۱۰۰ a
قطر ساقه (mm)	۷/۶۴ $\pm$ ۱/۱۳ c	۸/۱۹ $\pm$ ۰/۰۸۶ b	۸/۸۷ $\pm$ ۰/۱۱۸ b	۹/۹۸ $\pm$ ۰/۱۱۵ a	۱۰/۱۴ $\pm$ ۱/۱۶۳ a
ارتفاع ساقه (cm)	۷۳/۷۷ $\pm$ ۱/۵۵ c	۷۶/۴۰ $\pm$ ۲/۱۱ c	۸۰/۹۰ $\pm$ ۲/۶۹ b	۹۶/۰۷ $\pm$ ۱/۶۶ a	۹۵/۲۷ $\pm$ ۱/۰۸ a
زی‌توده ریشه (g)	۱/۳۳ $\pm$ ۰/۱۱۴ c	۱/۸۰ $\pm$ ۰/۱۳۵ c	۳/۳۲ $\pm$ ۰/۱۷۹ b	۵/۹۶ $\pm$ ۰/۲۲۹ a	۵/۸۹ $\pm$ ۰/۱۱۰ a
زی‌توده ساقه (g)	۸/۰۱ $\pm$ ۰/۳۷۲ c	۸/۳۸ $\pm$ ۰/۳۵۶ c	۱۰/۱۶ $\pm$ ۰/۳۳۶ b	۱۳/۷۷ $\pm$ ۰/۲۸۸ a	۱۴/۰۶ $\pm$ ۰/۳۷۷ a
زی‌توده برگ (g)	۱/۰۹ $\pm$ ۰/۰۹۸ d	۲/۱۳ $\pm$ ۰/۱۱۵ c	۳/۰۸ $\pm$ ۰/۱۰۸ b	۵/۹۳ $\pm$ ۰/۱۵۱ a	۶/۰۷ $\pm$ ۰/۱۴۱ a
زی‌توده کل گیاه (g)	۱۰/۱۳ $\pm$ ۰/۱۴۱ d	۱۲/۳۱ $\pm$ ۰/۲۶۰ c	۱۶/۵۶ $\pm$ ۰/۳۲۸ b	۲۵/۸۶ $\pm$ ۰/۴۵۶ a	۲۶/۱۰ $\pm$ ۰/۳۹۹ a

در هر سطر حروف انگلیسی متفاوت، تفاوت معنی‌دار آماری را بین میانگین گروه‌های موردبررسی نشان می‌دهد.



شکل ۱. نهال‌های صنوبر شاهد (سمت راست) و تحت تنش شوری (سمت چپ)

از سوی دیگر، نتایج نشان داد، اعمال تنش شوری بر نهال‌های صنوبر با افزایش معنی‌دار غلظت عناصر سدیم و کلر در اندام‌های گیاهی همراه بود و بیشترین غلظت این عناصر به‌ترتیب در اندام‌های برگ، ریشه و ساقه مشاهده شد (شکل ۲). در صنوبرهای حساس به تنش شوری مقادیر بالاتری از جذب عناصر سدیم و کلر و انتقال این عناصر به اندام هوایی در مقایسه با صنوبرهای مقاوم به شوری اتفاق می‌افتد. در این مطالعه، غلظت سدیم اندام برگ در سطوح ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، تقریباً ۲۵ برابر گیاهان شاهد (صفر میلی‌مولار) بود، درحالی‌که در صنوبر پده (گونه مقاوم به شوری) تحت تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار شوری، غلظت سدیم اندام برگ تقریباً ۷ برابر میزان آن نسبت به گیاهان شاهد بود (Chen *et al.*, 2003). در این مطالعه همچنین، تجمع یون‌های کلر در اندام برگ در سطح ۲۰۰ میلی‌مولار شوری تقریباً ۱۲ برابر مقدار آن نسبت به گیاهان شاهد بود. درواقع، عناصر سدیم و کلر تحت شرایط تنش شوری، توسط ریشه‌ها جذب و با انتقال از طریق شیره گیاهی منجر به سطوح بالای محتوای یونی در اندام هوایی گیاه می‌شوند (Chen *et al.*, 2014). بنابراین مکانیسم مهم صنوبرهای مقاوم به تنش شوری نظیر پده، پتانسیل و توانایی آنها برای دفع سدیم و کلر از سلول است.



شکل ۲. غلظت عناصر سدیم و کلر اندام‌های گیاهی نهال‌های صنوبر

تحت سطوح مختلف تیمار شوری (میانگین $\pm$ اشتباه معیار)

S_0, S_1, S_2, S_3, S_4 به ترتیب سطوح شوری ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار؛ در هر اندام، حروف انگلیسی متفاوت نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار آماری است.

در پروژه دیگر که در عرصه و با هدف بررسی پاسخ‌های رویشی رقم پرمحصول صنوبر تبریزی- سالاری ("62/154" *P. nigra*) به فاکتور شوری خاک انجام شد، عملکرد تولید در هکتار درختان صنوبر تبریزی روی خاک‌هایی با شوری متفاوت در دو توده صنوبر به مدت پنج سال بررسی شد. منطقه اجرای این پروژه در اراضی کشاورزی جنوب شهر تهران (محدوده شهری) بود. دو توده صنوبرکاری موردبررسی در روستاهای زمان‌آباد و قلعه‌نو واقع شده بودند (جدول ۲، شکل ۳). فاصله توده‌ها از یکدیگر ۲/۸۶ کیلومتر بود. دو توده صنوبر به مدت پنج سال از نظر عملکرد تولید بررسی شدند. آبیاری توده‌های صنوبر مورد مطالعه با استفاده از رواناب سطحی جاری در منطقه، که در گروه فاضلاب خام و تصفیه‌نشده قرار می‌گیرد، در طول این پنج سال انجام شد.

طبق آزمایشات انجام‌شده روی این فاضلاب در زمان‌های مختلف (چهار بار در سال)، میانگین pH و EC (ds/m) آن به ترتیب ۷/۱۳ و ۱/۱۲ بود. با توجه به میزان EC آب آبیاری، منشأ تنش شوری توده صنوبر ۲، مربوط به خاک منطقه بود.

نتایج نشان داد، خاک با EC کمتر (۱/۳۶ ds/m) شرایط رویشی مناسب‌تری را برای درختان صنوبر تبریزی در مقایسه با خاک با EC بیشتر (۴/۴۳ ds/m) فراهم کرد و همبستگی منفی بین متغیرهای رویشی درختان صنوبر و EC خاک مشاهده شد. به‌طوری‌که میانگین حجم در هکتار درختان صنوبر تبریزی پنج‌ساله در خاکی با شوری کمتر (توده ۱) تقریباً سه برابر میزان آن نسبت به خاکی با شوری بیشتر (توده ۲) بود (جدول ۳).

جدول ۲. ویژگی‌های عمومی توده‌های صنوبر مورد مطالعه

توده صنوبر	محل کاشت	مساحت (m ²)	هدایت الکتریکی خاک (ds/m)	فاصله کاشت درختان (m)	ارتفاع از سطح دریا (m)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
توده ۱	روستای زمان‌آباد	۲ هکتار	۱/۳۶	۱/۵ × ۲	۱۰۱۰	۳۵°۳۲'۳۵"	۵۱°۳۰'۵۸"
						N	E
توده ۲	روستای قلعه‌نو	۲ هکتار	۴/۴۳	۱/۵ × ۲	۱۰۰۰	۳۵°۲۹'۵۹"	۵۱°۲۹'۵۶"
						N	E

جدول ۳. مقایسه میانگین حجم در هکتار درختان صنوبر (m³) دو توده مورد مطالعه طی سال‌های مختلف

توده صنوبر	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم
توده ۱	۶/۴۸ ± ۰/۶۲۳ a	۳۱/۹۰ ± ۲/۸۰ a	۶۹/۹۹ ± ۳/۲۴ a	۱۰۸/۷۰ ± ۶/۵۵ a	۱۶۹/۲۳ ± ۵/۰۷ a
توده ۲	۳/۳۶ ± ۰/۳۵۵ b	۸/۱۱ ± ۰/۹۱۳ b	۲۱/۵۸ ± ۳/۰۷ b	۳۴/۵۸ ± ۵/۶۵ b	۶۶/۶۷ ± ۶/۵۶ b
P .values	۰/۰۰۶**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**

** معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۹ درصد؛ در هر ستون، حروف انگلیسی متفاوت، تفاوت معنی‌دار آماری را بین میانگین گروه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد.



شکل ۳. توده صنوبر ۱ (تصویر بالا) و توده صنوبر ۲ (تصویر پایین)

نتیجه‌گیری

کاهش زنده‌مانی و متغیرهای رشد و تولید زی‌توده نهال‌های صنوبر تبریزی تحت آبیاری با آب شور از یک سو و بالا بودن میزان تجمع عناصر سدیم و کلر در اندام برگ نسبت به گونه‌های مقاوم صنوبر نظیر پده از سوی دیگر حاکی از حساس بودن صنوبر تبریزی- رقم سالاری نسبت به تنش شوری است.

همچنین، نتایج حاصل از مطالعه عرصه‌ای با منشأ شوری خاک منطقه نشان داد، خاک با شوری کم، شرایط رویشی بسیار مناسب‌تری را برای این گونه در مقایسه با خاک با شوری بیشتر فراهم کرد. به‌طوری‌که عملکرد تولید درختان صنوبر تبریزی پنج‌ساله در خاک با شوری کم (توده ۱) تقریباً سه‌برابر میزان آن نسبت به خاک با شوری بیشتر (توده ۲) بود.

توصیه‌های فنی

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از دو پروژه تحقیقاتی در زمینه تأثیر تنش شوری با دو منشأ آب شور و خاک شور بر عملکرد نهال‌ها و درختان صنوبر تبریزی، جهت موفقیت و دستیابی به حداکثر تولید در هکتار در برنامه‌های زراعت چوب با این گونه صنوبر توصیه‌های فنی زیر به کشاورزان و بهره‌برداران محترم قبل از عملیات کاشت، پیشنهاد می‌گردد:

✓ نمونه‌های خاک از نقاط مختلف عرصه کاشت برداشت و میزان شوری خاک تعیین گردد.

✓ منبع آب آبیاری موردتوجه قرار گیرد و اسیدیته و شوری آن با نمونه‌گیری در ماه‌های مختلف فصل رویش تعیین شود.

۲۰ / امکان‌سنجی کاشت صنوبر تبریزی در اراضی متأثر از تنش شوری

✓ درنهایت با توجه به سه موضوع مهم (۱) میزان شوری خاک منطقه، (۲) میزان شوری منابع آبی موجود و (۳) دامنه تحمل به شوری گونه صنوبر هدف، درمورد برنامه زراعت چوب در منطقه موردنظر تصمیم‌گیری شود.

✓ با توجه به نتایج پژوهش‌های پیش‌رو بر روی نهال‌ها و درختان صنوبر تبریزی- رقم سالاری، شوری آب آبیاری حداکثر تا ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر و شوری خاک بین ۱-۲ دسی‌زیمنس بر متر برای رسیدن به حداکثر عملکرد تولید در هکتار این رقم صنوبر توصیه می‌شود.

درانتها شایان ذکر است، بهره‌برداری مناسب و اقتصادی از منابع آب و خاک متأثر از تنش شوری و تأثیر این منابع بر گیاهان، همواره چالش بزرگ پژوهشگران بوده است. لیکن، با اعمال روش‌های مدیریتی مناسب آبیاری و زراعی، می‌توان به‌نحو مطلوب و مناسبی از این منابع، بهره‌برداری کرد.

منابع

- اسدی، ف.، ۱۳۹۸. مبانی زراعت چوب صنوبر. ناشر: مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، ۲۴۲ صفحه.
- اکرم، م.، بهنام، ب.، پذیرا، ا.، حقیقت‌طلب، ع.، لطفی، ا.، میلانی، م.ا.، ۱۳۸۱. دستورالعمل آزمایش‌های آب‌شویی خاک‌های شور و سدیمی در ایران. نشریه علمی سازمان مدیریت منابع آب ایران، ۱ (۲۵۵): ۷-۲۴.
- پارسادوست ف.، دهقانی م.، تدین‌نژاد م.، کلاگری م.، ۱۴۰۰. تأثیر تنش شوری بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و رویشی دو گونه صنوبر و هیبریدهای آنها. فرایند و کارکرد گیاهی، ۱۰: ۳۳۱-۳۴۴.
- ثابتی، ح. ا.، ۱۳۷۳. جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران. چاپ دوم. انتشارات دانشگاه یزد، ۸۷۶ صفحه.
- حسینی، ی.، همایی، م.، کریمیان، ن.ع. و سعادت، س.، ۱۳۸۷. مدل‌سازی واکنش کلزا به تنش‌های توأمان شوری و کمبود نیتروژن. علوم و فنون کشاورزی، ۱۲ (۴۶): ۷۳۵-۷۲۱.
- دانشور ح.ع.، مدیررحمتی ع.، ۱۳۸۸. اثر نمک‌های کلرورسدیم و کلرورکلسیم بر صفات رویشی و تجمع عناصر در برگ چهار ژنوتیپ صنوبر. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۱۷ (۲): ۲۰۰-۲۰۹.
- راد، م.ه.، سردابی، ح.، سلطانی، م.، غلمانی، س.و.، ۱۳۹۳. سازگاری گونه‌ها و جمعیت‌های مختلف اکالیپتوس در شرایط آبیاری با پساب تصفیه‌خانه فاضلاب یزد. مجله آب و فاضلاب، ۲۵ (۱): ۹۴-۸۵.
- زهتابیان، غ.ر.، طیب، م.س.، سوری، م.، ۱۳۸۵. بررسی علل شوری خاک در استان کرمان (مطالعه موردی: دشت کبوترخان). تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۳ (۴): ۳۸۴-۳۶۸.
- ساداتی س.ا.، طبری کوچکسرای م.، ۱۳۹۷. پاسخ زنده‌مانی، رشد و برخی ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی و بیوشیمیایی نهال سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm.) به شوری. جنگل و فراورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران، ۷۱ (۲): ۹۵-۱۰۴.

- صالحی آ.، کلاگری م.، احمدلو ف.، ۱۳۹۷. تأثیر ویژگی‌های خاک بر رشد درختان تبریزی (*Populus nigra* L.) سه ساله در جنوب تهران. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، ۲۶ (۳): ۳۴۴-۳۵۴.
- صالحی، آ.، ۱۴۰۱. امکان‌سنجی و ترویج استفاده از فاضلاب در زراعت چوب. نشریه فنی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، ۲۷ صفحه.
- فیضی، م.، سعادت، س.، ۱۳۹۴. اثر مدیریت آبیاری با آب شور بر شوری خاک در یک دوره تناوب زراعی. مدیریت آب و آبیاری، ۵ (۱): ۱۱-۲۵.
- کلاگری م.، صالحی شانجانی پ.، بانج شفیع 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.
- Ba'rzana, G., Aroca, R., Paz, J.A., Chaumont, F., Martinez-Ballesta, M.C., Carvajal, M. and Ruiz-Lozano, J.M., 2012. Arbuscular mycorrhizal symbiosis increases relative apoplastic water flow in roots of the host plant under both well-watered and drought stress conditions. *Annals of Botany*, 109: 1009-1017.
- Bertrand, A., Dhont, C., Bipfubusa, M., Chalifour, F.P., Drouin, P. and Beauchamp, C.J., 2015. Improving salt stress response of the symbiosis in alfalfa using salt tolerant cultivar and rhizobial strain. *Applied Soil Ecology* 87: 108-117.
- Bolu, W.H. and Polle, A., 2004. Growth and stress reactions in roots and shoots of a salt-sensitive poplar species (*Populus x canescens*). *Tropical Ecology*, 45(1): 161-171.
- Cagelli, L. and Lefevre, F. 1995. The conservation of *Populus nigra* and gene flow with cultivated poplars in Europe, *Forest Genetics*, 2: 135-144.
- Carpenter, E.D., 1970. Salt tolerance of ornamental plants. *Amer Nurseryman*, 131: 12-71.
- Cervera, M.T., Storme, V., Ivens, B., Gusmao, J., Liu, B.H., Hostyn, V., Van Slycken, J., Van Montagu, M. and Boerjan, W., 2001. Dense genetic linkage maps of three *Populus* species (*Populus deltoides*, *P. nigra* and *P. trichocarpa*) based on AFLP and microsatellite markers. *Genetics*, 158: 787-809.
- Chen, S. and Polle, A., 2010. Salinity tolerance of *Populus*. *Plant Biology*, 12: 317-333.
- Chen, S., Li, J., Fritz, E., Wang S. and Huttermann, A., 2002. Sodium and chloride distribution in roots and transport in three poplar genotypes under increasing NaCl stress. *Forest Ecology and Management*, 168: 217-230.

- Chen, S., Li, J., Wang, S., Fritz, E., Huttermann, A. and Altman, A., 2003. Effects of NaCl on shoot growth, transpiration, ion compartmentation, and transport in regenerated plants of *Populus euphratica* and *Populus tomentosa*. Canadian Journal of Forest Research 33: 967-975.
- Chen, S.L., Hawighorst, P., Sun, J. and Polle, A., 2014. Salt tolerance in *Populus*: significance of stress signaling networks, mycorrhization, and soil amendments for cellular and whole-plant nutrition. Environmental and Experimental Botany, 107: 113-124.
- Ellouzi, H, Ben Hamed, K., Hernandez, I., Cela, J., Muller, M., Magne, C., Abdelly, C. and Munne-Bosch, S., 2014. A comparative study of the early osmotic, ionic, redox and hormonal signaling response in leaves and roots of two halophytes and a glycophyte to salinity. Planta, 240: 1299-1317.
- Hardie, M. and Richard, D. 2012. Measuring soil salinity." *Plant salt tolerance: methods and protocols*. 415-425.
- He, X., Yang, Y., Wei, H. and Yuan, Z., 2021. Soil microbiome-mediated salinity tolerance in poplar plantlets is source-dependent. Chemosphere, 272: 129600.
- Herpka, I. 1986. A survey of development and possibilities of growing: natural forests of poplars and willows, Poplars and Willows in Yugoslavia. Poplar Research Institute, Novi Sad, 21-36.
- Imada, S., Yamanaka, N., Tamai, S., 2009. Effects of salinity on the growth, Na partitioning, and Na dynamics of a salt-tolerant tree, *Populus alba* L. Journal of Arid Environments, 73: 245-251.
- Imbert, E. and Lefevre, F., 2003. Dispersal and gene flow of *Populus nigra* (Salicaceae) along a dynamic river system. Journal of Ecology, 91: 447.
- Janz, D., Lautner, S., Wildhagen, H., Behnke, K., Schnitzler, J.P., Rennenberg, H., Fromm, J. and Polle, A., 2012. Salt stress induces the formation of a novel type of 'pressure wood' in two *Populus* species. New Phytologist, 194: 129-141.
- Kaya, C., Tuna, A.L., Ashraf, M. and Altunlu, H., 2007. Improved salt tolerance of melon (*Cucumis melo* L.) by the addition of proline and potassium nitrate. Environmental and Experimental Botany, 60: 397-403.
- Kets, K., Darbah, J.N., Sober, A., Riikonen, J., Sober, J. and Karnosky, D.F., 2010. Diurnal changes in photosynthetic parameters of *Populus tremuloides*, modulated by elevated concentrations of CO₂ and/or O₃ and daily climatic variation. Environmental Pollution, 158(4): 1000-1007.
- Kogawara, S., Mohri, T., Igasak, T., Nakajima, N. and Kenji Shinohara, K., 2014. Drought and salt stress tolerance of ozone-tolerant transgenic poplar with an antisense DNA for 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase. Bulletin of Forestry and Forest Products Research Institute, 13: 89-98.
- Kulczyk-Skrzeszewska, M. and Kieliszewska-Rokicka, B., 2022. Influence of drought and salt stress on the growth of young *Populus nigra* 'Italica' plants and associated mycorrhizal fungi and non-mycorrhizal fungal endophytes. New Forests 53: 679-694.
- Li, L., Zhang, Y.B., Luo, J.X., Korpelainen, H. and Li, C.Y., 2013. Sex-specific responses of *Populus yunnanensis* exposed to elevated CO₂ and salinity. Physiologia Plantarum, 147: 477-488.
- Lumis, G.P., Hofstra, G. and Hall, R., 1973. Sensitivity of roadside trees and shrubs to aerial drift of deicing salts. HortScience, 8: 475-477.

- Mitchell, A. F. 1974. A field guide to the trees of Britain and northern Europe. Published by Collins.
- Munns, R., Tester, M., 2008. Mechanisms of salinity tolerance. Annual Review of Plant Biology, 59: 65-81.
- Norris, J.E., Di Iorio, A., Stokes, A., Nicoll, B.C. and Achim, A. 2008. Slope Stability and Erosion Control: Ecotechnological Solutions, J. E. Norris, *et al.*, eds. (Springer Netherlands, 2008). pp. 167–210.
- Pellett, N.W., 1972. Salt tolerance of trees and shrubs. Univ. Vermont Ext, Service Brieflet, p. 1212.
- Praciak, A. *et al.*, 2013. The CABI encyclopedia of forest trees. CABI, Oxfordshire, UK.
- Salehi, A., Calagari, M., Ahmadloo, F., Sayadi, M.H.J. and Tafazoli, M., 2022. Productivity of *Populus nigra* L. in two different soils over five rotations. Acta Ecologica Sinica, 42(4):332-337.
- Šiler, B., *et al.*, 2014. Variability of european black poplar (*populus nigra*) in the Danube Basin, Tech. rep.
- Sixto, H., Grau, J.M., Alba, N., Alia, R., 2005. Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus* L. Forestry, 78(1): 93-104.
- Vanden Broeck, A., Cox, K., Quataert, P., Van Bockstaele, E. and Van Slycken, J. 2003. Flowering phenology of *Populus nigra* L., *P. nigra* cv. italica and *P. x canadensis* Moench. and the potential for natural hybridisation in Belgium. Silvae genetica 52(5-6): 280-283.
- Wu, N., Li, Z., Wu, F. and Tang, M., 2016. Comparative photochemistry activity and antioxidant responses in male and female *Populus cathayana* cuttings inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi under salt. Scientific Reports, 6:37663.
- Xiao, X.W., Yang, F., Zhang, S. *et al.*, 2009. Physiological and proteomic responses of two contrasting *Populus cathayana* populations to drought stress. Physiologia Plantarum, 136: 150-168.
- Yang, F., Xiao, X., Zhang, S., Korpelainen, H. and Li, Ch., 2009. Salt stress responses in *Populus cathayana* Rehder. Plant Science, 176: 669-677.
- Zhang, X., Liu, L., Chen, B., Qin, Z., Xiao, Y., Zhang, Y., Yao, R., Liu, H., Yang, H., 2019. Progress in understanding the physiological and molecular responses of *Populus* to salt stress. International Journal of Molecular Sciences, 20: 1-17.