**Research Article**

Iranian Journal of Forest and Range Protection Research DOI: 10.22092/ijfrpr.2024.365806.1623
Vol. 22, No. 2, Page 239-253 (2025)

# Impact of fertilization with sewage sludge on pests and diseases of poplar trees

**Azadeh Salehi[1*], Samira Farahani[2] and Seyedeh Masoomeh Zamani[2]**

1*- Corresponding author, Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: az.salehi@rifr-ac.ir

2- Assistant Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 18.05.2024 Accepted: 24.08.2024

## Abstract

**Background and objectives**: Wastewater treatment plants generate substantial amounts of sewage sludge, necessitating proper management and disposal strategies. Given its potential to improve soil physico-chemical properties, sewage sludge can be repurposed as an organic fertilizer in poplar plantations, contributing to sustainable agricultural practices. However, due to its high nutrient content, particularly nitrogen and phosphorus, concerns arise regarding its potential impact on tree health, including increased susceptibility to pests and diseases. Excess nutrients may alter plant metabolism, making trees either more attractive to herbivorous pests or more resilient to infestations. To evaluate this hypothesis, a field study was conducted to assess the effects of fertilization with sewage sludge from the South Wastewater Treatment Plant of Tehran on pest and disease incidence in two poplar species (*Populus nigra* 62/154 and *Populus alba* 45/67).

**Methodology**: This study, as part of a broader project on the potential application of sewage sludge in poplar plantations, was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with two factors: (1) sewage sludge at three levels (0, 10, and 20 kg/m²) and (2) species at two levels (*P. nigra* 62/154 and *P. alba* 45/67). The experiment included three blocks, each containing six plots (each 16 m²), representing a combination of sewage sludge treatment and poplar species. In total, the experiment comprised six treatments (3 sewage sludge levels × 2 species) with three replications. Each plot contained nine trees. Over four consecutive growing seasons, all poplar trees were systematically monitored for pest and disease occurrence, and data were recorded in pre-prepared forms.

**Results**: During the first growing season, no significant pest infestations were observed in either poplar species, and trees subjected to different sewage sludge treatments showed no differences in this regard. In the second growing season, *Monosteira unicostata* was identified as the primary pest, causing partial leaf fall in the middle of the growing season. The infestation rate in *P. alba* was nearly twice as high as in *P. nigra*, though no significant differences were observed among sewage sludge treatments. In the third growing season, *Phloeomyzus passerinii* and *Chaitophorus populeti* were the most prevalent pests on *P. nigra*, whereas *Phloeomyzus passerinii* and *Monosteira unicostata* were the dominant pests on *P. alba*. In the fourth growing season, water stress led to the presence of *Melanophila picta* on some *P. nigra* trees and *Phloeomyzus passerinii* on some *P. alba* trees. Across all four growing seasons, no significant differences were detected among sewage sludge treatments in terms of pest incidence.

**Conclusion**: The results of this study indicate that sewage sludge fertilization did not significantly influence the susceptibility of either poplar species to pests and diseases. This finding is crucial for sustainable forestry management, as it suggests that the four-year monitoring period revealed that *P. alba* exhibited greater resistance to economically significant

pests compared to *P. nigra*. Future studies could further investigate the long-term effects of sewage sludge on soil microbial communities and tree physiological responses to better understand its broader ecological impacts.

**Keywords**: *Amorpha populi*, *Monosteira* sp., pests, *Populus* spp., Sewage sludge

# تأثیر کوددهی با لجن فاضلاب بر آفات و بیماری‌های درختان صنوبر تبریزی و کبوده

آزاده صالحی[۱*]، سمیرا فراهانی[۲] و سیدمعصومه زمانی[۲]

۱*- نویسنده مسئول، استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

پست‌الکترونیک: az.salehi@rifr-ac.ir

۲- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۶/۰۳

## چکیده

**سابقه و هدف:** تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مقادیر زیادی لجن تولید می‌کنند. با توجه به ضرورت مدیریت و دفع مناسب لجن فاضلاب تولیدی در تصفیه‌خانه‌ها از یکسو و بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک درنتیجه کاربرد لجن فاضلاب به‌عنوان یک پسماند آلی از سوی دیگر، این لجن می‌تواند به‌عنوان یک کود آلی در زراعت چوب استفاده شود. با توجه به بالا بودن سطح عناصر غذایی موجود در لجن فاضلاب، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، این نگرانی وجود دارد که در درختان تیمارشده با آن، ابتلا به آفات و بیماری‌ها بیشتر باشد. بنابراین، طی یک مطالعه عرصه‌ای تأثیر کوددهی با لجن فاضلاب بر آفات و بیماری‌های درختان صنوبر دو گونه تبریزی (*P. nigra* 62/154) و کبوده (*P. alba* 20/45) بررسی شد.

**مواد و روش‌ها:** پژوهش پیش‌رو، که قسمتی از یک پروژه تحقیقاتی در زمینه ظرفیت استفاده از لجن فاضلاب در زراعت چوب است، به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور ۱) لجن فاضلاب در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم بر مترمربع) و ۲) گونه صنوبر در دو سطح (*P. nigra* 62/154 و *P. alba* 20/45) با سه تکرار اجرا شد. در هر پلات نه اصله نهال صنوبر به‌صورت گروهی در فاصله ۲×۲ کاشته شد. سیستم آبیاری عرصه کاشت نیز به‌صورت قطره‌ای بود. در طول هر فصل رویش به مدت چهار سال به‌صورت ماهیانه کلیه درختان صنوبر در تیمارهای موردمطالعه پایش و ازنظر آفات و بیماری‌ها بررسی شدند. برای تعیین میزان خسارت هر آفت روی هر درخت، درصد خسارت براساس مشاهدات تخمین زده شد و براساس پنج درجه کیفی شامل صفر: بدون خسارت، یک: ۱-۲۰ درصد، دو: ۲۱-۴۰ درصد، سه: ۴۱-۶۰ درصد، چهار: ۶۱-۸۰ درصد و پنج ۸۱-۱۰۰ درصد در فرم‌های از قبل تهیه‌شده ثبت شد. سپس میانگین آن برای نه اصله درخت هر پلات محاسبه شد.

**نتایج و یافته‌ها:** در فصل اول رویش، طغیان آفت خاصی روی درختان صنوبر دو گونه مشاهده نشد و درختان تیمارهای مختلف لجن فاضلاب نیز از این نظر تفاوتی با یکدیگر نداشتند. در فصل دوم رویش، مهمترین آفت مشاهده‌شده روی هر دو گونه که باعث خسارت جزئی به درختان به شکل خزان برگ‌ها در اواسط فصل رویش شد، آفت سنک (*Monosteira unicostata* (Mulsant & Rey)) بود که شدت ابتلای درختان صنوبر کبوده به این آفت تقریباً دو برابر درختان صنوبر تبریزی بود، اما بین درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب ازنظر میزان ابتلا به این آفت تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در فصل سوم رویش، مهمترین آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر تبریزی، آفت شته مومی (*Phloeomyzus passerinii* (Signoret)) و شته برگی (*Chaitophorus populeti*) و روی درختان صنوبر کبوده، آفت شته مومی و سنک بود. در فصل چهارم رویش به علت تنش آبی واردشده، روی درختان صنوبر تبریزی آفت سوسک چوب‌خوار (*Melanophila picta*) و روی درختان صنوبر کبوده آفت شته مومی مشاهده شد. در فصول سوم و چهارم رویش نیز بین درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب ازنظر ابتلا به آفات یادشده تفاوتی مشاهده نشد.

**نتیجه‌گیری کلی:** در کل، نتایج پژوهش پیش‌رو نشان داد، کوددهی با لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری روی افزایش، یا کاهش ابتلای درختان صنوبر دو گونه تبریزی و کبوده به آفات و بیماری‌ها نداشته است. همچنین، پایش چهارساله درختان صنوبر دو گونه

تبریزی و کبوده نشان داد، درختان صنوبر کبوده ازنظر ابتلا به آفاتی که خسارت اقتصادی به درخت وارد می‌کنند، مقاوم‌تر از درختان صنوبر تبریزی بودند. مطالعات آینده می‌تواند اثرات طولانی مدت لجن فاضلاب را بر جوامع میکروبی خاک و پاسخ‌های فیزیولوژیکی درختان برای درک بهتر اثرات اکولوژیکی گسترده‌تر آن بررسی کند.

**واژه‌های کلیدی:** آفت، پسماند، سنک، سوسک چوب‌خوار، صنوبر

## مقدمه

در دهه‌های اخیر به دلایل متعدد مانند بهره‌برداری‌های بی‌رویه، افزایش جمعیت و توسعه شهرها با کاهش سطح جنگل‌های طبیعی و محدودیت برداشت از آنها مواجه شده‌ایم. با افزایش روزافزون نیاز جوامع انسانی به محصولات چوبی از یکسو و کاهش منابع چوبی از سوی دیگر، جنگل‌کاری و کشت‌وکار با گونه‌های تندرشد به‌ویژه صنوبرها در اولویت قرار گرفته و این کشت‌وکارها به‌عنوان بزرگ‌ترین منبع تولید چوب غیرجنگلی و منابع بالقوه تولید زی‌توده تجدیدپذیر مطرح شده‌اند (Royle and Ostry, 1995). صنوبرها به‌دلیل تندرشد بودن و تولید زی‌توده بالا، سازگاری خوب و توزیع گسترده جغرافیایی (Sixto *et al*., 2005Salehi *et al*., 2022;). در سراسر جهان از گونه‌های درختی موردتوجه در پروژه‌های زراعت چوب و جنگل‌کاری هستند. در ایران نیز گونه‌های مختلف صنوبر از سالیان دور در میان روستاییان مقبولیت خاصی داشته، همچنین منبع اصلی تأمین مواد اولیه بسیاری از صنایع چوبی بوده‌اند. از بین گونه‌های مختلف جنس صنوبر، دو گونه پده (*Populus euphrotica*) و سفیدپلت (*P. caspica*) به‌ترتیب بومی مناطق جنوب‌غربی و شمال کشور هستند و از منظر محیط‌زیستی و اقتصادی ارزش فراوانی دارند. گونه‌های دیگر مانند تبریزی (*P. nigra*) و کبوده (*P. alba*) از گذشته‌های دور در نقاط مختلف کشور کشت‌وکار شده‌اند و درواقع بومی‌شده ایران هستند. سایر گونه‌ها مانند دلتوئیدس (*P. deltoides*) و اورامریکن (*P. euramericana*) وارداتی هستند و به‌دلیل نیاز آبی بالا در نواحی شمالی ایران کشت‌وکار می‌شوند (Salehi *et al*., 2018).

در زراعت چوب و صنوبرکاری‌ها، افزایش تولید در واحد سطح از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار است. به‌طوری‌که بتوان از زمین زیرکشت در مدت زمان موردانتظار، بیشترین برداشت چوب و بالاترین بازده اقتصادی را داشت. این موضوع از طریق انتخاب کلن‌های صنوبر پربازده و افزایش حاصلخیزی خاک با استفاده از اصلاح و تقویت‌کننده‌های خاک امکانپذیر است. لجن فاضلاب به‌عنوان یک کود آلی از دیرباز جایگاه ویژه‌ای در کشاورزی داشته است و استفاده از آن برای افزایش عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف و مواد آلی خاک (Moffat *et al*., 2001) به جای کودهای شیمیایی که استفاده از آنها مشکلات زیست‌محیطی فراوانی را به دنبال خواهد داشت، موردتوجه بوده است. درواقع، لجن فاضلاب به‌عنوان محصول فرعی مهم ناشی از فرایند تصفیه فاضلاب، نوعی پسماند آلی است که می‌تواند سبب افزایش غلظت عناصر غذایی اصلی و ریزمغذی‌های خاک، همچنین بهبود خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شود (Baran *et al*., 2001). ازآنجایی‌که یکی از کاربردهای لجن فاضلاب می‌تواند استفاده از آن در جنگل‌کاری‌ها و زراعت چوب باشد (Marron, 2015)، با توجه به تولید سالانه مقادیر زیادی لجن فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، می‌توان از این پسماند آلی ارزان‌قیمت تولیدشده به‌منظور افزایش تولید چوب در واحد سطح و مدیریت و دفع مناسب آن در چهارچوب برنامه‌های پایش و کنترل مستمر در فعالیت‌های زراعی استفاده کرد.

اما با ورود بالای عناصر غذایی همراه با استفاده از پسماندهایی مانند فاضلاب‌ها و لجن فاضلاب در صنوبرکاری‌ها، احتمال بروز و هجوم علف‌های هرز و افزایش ابتلای درختان به آفات و بیماری‌ها وجود دارد (Minhas *et al*., 2022). کنترل آفات و بیماری‌ها از مسائل مهمی است که در صنوبرکاری‌ها و سیستم‌های بهره‌برداری

کوتاه‌مدت باید موردتوجه قرار گیرد. در فون جانوری وابسته به صنوبر، تعدادی از گونه‌های حشرات با تغذیه از اندام‌های مختلف صنوبر، خسارت کمی و کیفی شدیدی ایجاد می‌کنند و عملکرد چوب در واحد سطح را کاهش می‌دهند. در ایران تحقیق در مورد فون حشرات صنوبر از سال ۱۳۰۷ توسط افشار آغاز شد (Shodjaei, 1986). Abaii و Adeli (۱۹۸۳) فهرستی از آفات صنوبر را با ذکر اهمیت اقتصادی و مناطق انتشار آن در ایران ارائه کردند. بعد از آن، Khial و Sadraei (۱۹۸۴) آفات مهم صنوبر را در ۵ استان کشور فهرست نمودند. Sadeghi و همکاران (۲۰۰۱) در بررسی فون بندپایان صنوبر در استان‌های شمالی کشور، ۲۰۰ گونه آفات و حشرات مفید را معرفی کردند. Babmorad و Zeinali (۲۰۲۲) در بررسی فون بندپایان زیان‌آور گونه‌های صنوبر در استان‌های تهران و البرز، ۵۵ گونه حشره شامل ۱۹ گونه حشره برگ‌خوار، ۲۸ گونه آفت مکنده و هشت گونه چوب‌خوار و ریشه‌خوار را معرفی نمودند. در سال‌های اخیر تحقیقات جامعی در صنوبرکاری‌های استان‌های مختلف کشور انجام و فهرست آفات و بیماری‌های مهم آن ارائه شده است (Rajabi Mazhar *et al.*, 2023)، ولی تاکنون مطالعه‌ای در مورد تأثیر کوددهی با لجن فاضلاب بر آفات و بیماری‌های درختان صنوبر در کشور انجام نشده است. با توجه به بالا بودن سطح عناصر غذایی موجود در لجن فاضلاب به‌ویژه نیتروژن و فسفر، لازم است تحقیقاتی روی آفات و بیماری‌های صنوبرهای تیمارشده با لجن فاضلاب انجام شود.

ازآنجایی‌که توسعه صنوبرکاری‌ها و افزایش بازدهی آنها در گرو بررسی‌های چندجانبه اکولوژیکی، به‌زراعی، به‌نژادی، و مدیریت آفات و بیماری‌هاست، در مطالعه پیش‌رو، که قسمتی از طرح پژوهشی در زمینه ظرفیت بهره‌وری از لجن فاضلاب به‌عنوان اصلاح‌کننده خاک در صنوبرکاری‌هاست، طی یک دوره رویشی چهارساله میزان ابتلا به آفات و بیماری‌های درختان صنوبر دو گونه تبریزی (*P. nigra* 62/154) و کبوده (*P. alba* 20/45) تحت تأثیر کوددهی با لجن فاضلاب بررسی شده است.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی البرز مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور انجام شده است. بدین منظور، در ابتدا نهال‌های صنوبر از دو گونه تبریزی (*P. nigra* 62/154) و کبوده (*P. alba* 20/45) تولید شد. آنگاه لجن فاضلاب خشک مورداستفاده در این پژوهش از تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب شهر تهران تهیه و به ایستگاه تحقیقاتی البرز منتقل شد. سپس زمینی به مساحت تقریبی ۱۰۰۰ مترمربع مناسب کشت صنوبر ازنظر خاک و دسترسی به منابع آبی در اواخر بهمن‌ماه آماده‌سازی (شخم‌زنی، تسطیح و چاله‌کنی) و در اوایل اسفندماه، نهال‌های همگن صنوبرهای موردمطالعه در زمین آماده‌شده با فواصل ۲×۲ متر کشت شد. در زمان کاشت نهال‌ها، تیمار لجن فاضلاب در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم بر مترمربع) به‌صورت چال‌کود روی بستر کاشت درختان صنوبر اعمال گردید. آبیاری عرصه کاشت به‌صورت آبیاری قطره‌ای با دور آبیاری دو بار در هفته در فصول رشد انجام شد.

به‌طورکلی پژوهش پیش‌رو، به‌صورت آزمون فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با دو فاکتور ۱) لجن فاضلاب در سه سطح (۰، ۱۰ و ۲۰ کیلوگرم بر مترمربع) و ۲) گونه صنوبر در دو سطح (*P. nigra* و *P. alba*) با سه بلوک و شش پلات در هر بلوک (هر پلات ۱۶ مترمربعی مربوط به یک سطح لجن فاضلاب و یک گونه)، در کل با شش تیمار (۳ تیمار لجن فاضلاب × ۲ تیمار گونه) در ۳ تکرار روی بستر کاشت درختان اعمال شد. تعداد درختان صنوبر در هر پلات نه اصله بود. شایان ذکر است که بلوک‌بندی برای حذف تأثیر عامل میزان آبیاری در طول ردیف کاشت درختان روی تیمارها انجام شد. در طول هر فصل رویش به مدت چهار سال به‌صورت ماهیانه کلیه درختان صنوبر در تیمارهای موردمطالعه پایش و ازنظر آفات و بیماری‌ها بررسی شدند. برای تعیین میزان خسارت هر آفت روی هر درخت، درصد خسارت براساس

مشاهدات تخمین زده شده و براساس پنج درجه کیفی شامل صفر: بدون خسارت، یک: ۱-۲۰ درصد، دو: ۲۱-۴۰ درصد، سه: ۴۱-۶۰ درصد، چهار: ۶۱-۸۰ درصد و پنج: ۸۱-۱۰۰ درصد در فرم‌های از قبل تهیه‌شده ثبت شد. سپس، میانگین آن برای نه اصله درخت هر پلات محاسبه شد. شایان ذکر است، در قسمت نتایج فقط در مواردی که درصد ابتلای درختان به آفتی بیشتر از ۱۰درصد بود، داده‌ها ذکر شده است و در بقیه موارد فقط آفات مشاهده‌شده گزارش شده‌اند.

مشخصات فیزیکی- شیمیایی خاک عرصه کاشت (قبل از کاشت درختان) در جدول ۱ آمده است. در این پژوهش، بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1962)، اسیدیته (pH) به روش گل اشباع (Mclean,1982)، هدایت الکتریکی (EC) به روش عصاره گل اشباع (Rhoades, 1982)، ماده آلی به روش والکلی- بلاک (Nelson & Sommers, 1996)، نیتروژن کل به روش کجلدال (Bremner, 1996) و غلظت کل سایر عناصر غذایی شامل فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم، آهن، روی، منگنز و مس پس از هضم اسیدی (هضم با اسیدهای HCl و $HNO_3$ به نسبت ۴ به ۱) با استفاده از دستگاه ICP-MS (PerkinElmer ICP-MS: Elan 9000 DRC-E, USA) اندازه‌گیری شد.

**جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی خاک**

**Table 1. Physico-chemical properties of soil**

| Parameter | Texture | pH | EC (ds/m) | Organic matter (%) | N (%) | P (g/kg) | K (g/kg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Quantity | Clay loam | 7.5 | 1.4 | 0.95 | 0.09 | 1.06 | 21.18 |
| **Parameter** | **S (mg/kg)** | **Ca (g/kg)** | **Mg (g/kg)** | **Fe (g/kg)** | **Zn (mg/kg)** | **Cu (mg/kg)** | **Mn (mg/kg)** |
| Quantity | 220.01 | 50.02 | 14.12 | 25.60 | 88.5 | 60.13 | 855.21 |

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در این پژوهش با نرم‌افزار آماری SPSS انجام شد. بدین‌ترتیب که در ابتدا، نرمال بودن و همگنی واریانس داده‌ها توسط آزمون‌های Shapiro-Wilk و Levene بررسی شد. با توجه به نرمال و همگن بودن داده‌ها، برای بررسی تأثیر فاکتورهای اصلی (گونه و لجن فاضلاب) و تأثیر متقابل فاکتورها بر میزان ابتلا به آفات و بیماری‌های درختان صنوبر از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (ANOVA)، برای بررسی تأثیر سطوح مختلف لجن فاضلاب بر میزان ابتلا به آفات و بیماری در هر گونه صنوبر از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (ANOVA) و برای گروه‌بندی و مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی استفاده شد.

## نتایج

ازآنجایی‌که در پایش و بررسی چهارساله درختان صنوبر دو گونه تبریزی و کبوده، بیماری خاصی روی درختان مشاهده نشد، این نوشتار محدود به بررسی آفات مشاهده‌شده روی این دو گونه در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب خواهد بود. در بررسی درختان دو گونه صنوبر تبریزی و کبوده موردمطالعه در فصل اول رویش، طغیان آفت خاصی روی درختان صنوبر مشاهده نشد و در هر دو گونه، درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب تفاوتی با یکدیگر نداشتند.

پایش آفات درختان صنوبر تبریزی در سال دوم اجرای پروژه نشان داد، در سه ماه اول فصل رویش دوم، آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر تبریزی دو نوع پروانه برگ‌خوار صنوبر شامل *Amorpha populi* و *Gypsonoma aceriana*، شته گال کیسه‌ای (*Pemphigus* sp.)، پروانه توری تبریزی *Nycteola asiatica* Krul، شته (*Chaitophorus populeti*) و سوسک مینوز برگ صنوبر (*Zeugophora flavicolis*) بود که با توجه به شیوع کم (۱-

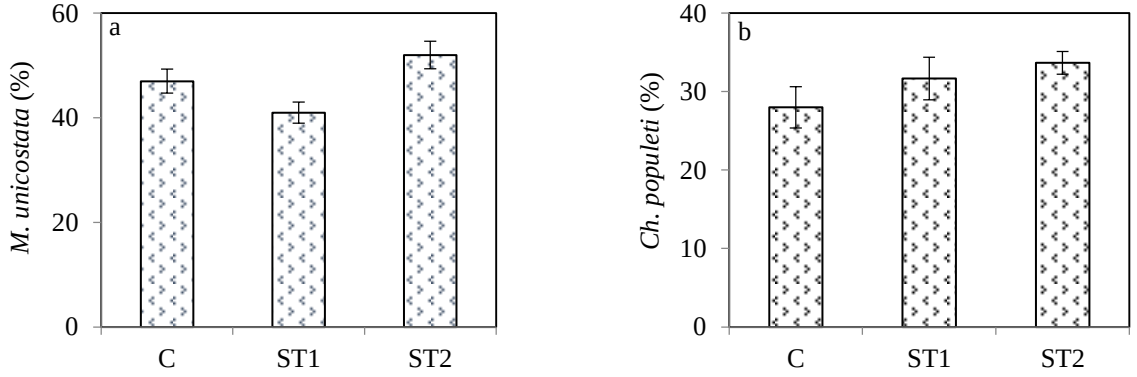
۲۰ درصد) این آفات روی درختان صنوبر تبریزی داده‌ای ثبت نشد. بنابراین، در سه ماه اول این فصل رویش آفت مهمی روی درختان صنوبر تبریزی مشاهده نشد و درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب تفاوتی با یکدیگر نداشتند. پایش آفات درختان صنوبر کبوده در سه ماه اول فصل رویش دوم نشان داد، آفات مشاهده‌شده روی این درختان، سنک (*Monosteira unicostata*)، شته (*Chaitophorus populeti*)، سوسک مینوز برگ (*Zeugophora flavicolis*) و پروانه برگ‌خوار (*Gypsonoma aceriana*) بود که آفات سوسک مینوز برگ و پروانه برگ‌خوار با شیوع کم (۱–۲۰ درصد) مشاهده شد، اما دو آفت سنک و شته روی درختان صنوبر کبوده شیوع بیشتری داشتند، بنابراین، داده‌های مربوط به این دو آفت ثبت و تجزیه‌وتحلیل آماری داده‌ها انجام شد. نتایج نشان داد، درصد ابتلای برگ درختان صنوبر کبوده به آفات سنک و شته به‌ترتیب تقریباً ۴۵ و ۳۰ درصد بود. همچنین، همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، تیمار لجن فاضلاب تأثیر مثبت یا منفی معنی‌داری بر میزان ابتلای درختان صنوبر کبوده به آفات سنک و شته نداشت (جدول ۲، شکل‌های ۱ و ۲).

**جدول ۲– تجزیه واریانس آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر کبوده تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب (سه ماهه اول فصل رویش دوم)**

**Table 2. Variance analysis observed pests on *P. alba* trees under sewage sludge treatments (the first quarter of the second growing season)**

| | | ***M. unicostata*** | | | ***Ch. populeti*** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variation source** | **df** | **Mean square** | **F** | ***P* value** | **Mean square** | **F** | ***P* value** |
| **Sewage treatment** | 2 | 80.11 | 4.87 | 0.055 ns | 24.77 | 1.49 | 0.297 ns |
| **Error** | 6 | 16.44 | - | - | 16.55 | - | - |

ns: Non-significant




**شکل ۱– میانگین درصد ابتلا به آفات سنک (a) و شته (b) در نهال‌های صنوبر کبوده تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب در سه ماهه اول فصل رویش دوم (میانگین ± اشتباه معیار)؛ C: تیمار شاهد، ST1: تیمار ۲۰kg/m² لجن، ST2: تیمار ۴۰kg/m² لجن**

**Figure 1. Pest percentage of *M. unicostata* (a) and *Ch. populeti* (b) in *P. alba* trees affected by sewage sludge treatments in the first quarter of the second growing season (means ± SE); C: Control treatment, ST1: 20 kg/m² sewage sludge treatment, ST2: 40 kg/m² sewage sludge treatment**

شکل ۲- آفات شته (سمت راست) و سنک (سمت چپ) روی برگ درختان صنوبر کبوده

**Figure 2. Pest infection of *Ch. populeti* and *M. unicostata* on leaves of *P. alba* trees**

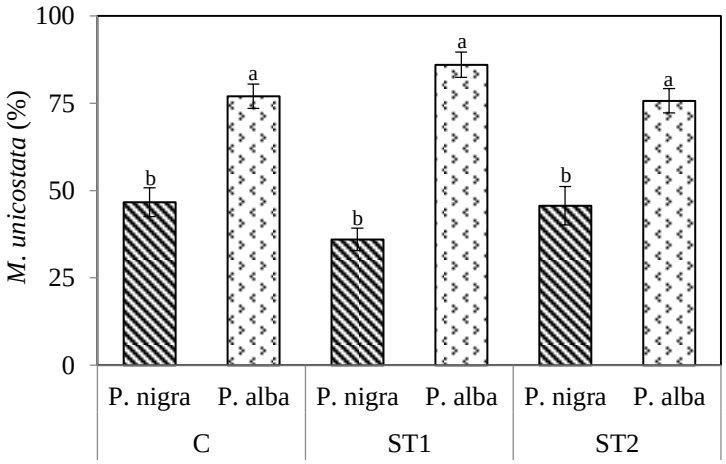
در سه ماهه دوم فصل رویش دوم، به‌ویژه در ماه‌های مرداد و شهریور، مهمترین آفت مشاهده‌شده روی درختان صنوبر تبریزی و کبوده (شکل ۲)، آفت سنک صنوبر بود، به‌طوری‌که در هر دو گونه صنوبر در این زمان طغیان این آفت مشاهده شد. نتایج مربوط به درصد ابتلای درختان صنوبر دو گونه به این آفت در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، عامل گونه روی درصد ابتلا به این آفت معنی‌دار بود. به‌طوری‌که درصد ابتلای درختان صنوبر تبریزی و کبوده به این آفت، به‌ترتیب تقریباً ۴۲ و ۸۰ درصد همراه با تفاوت معنی‌دار آماری در هر سه تیمار لجن فاضلاب بود. البته تأثیر عامل لجن فاضلاب و تأثیر متقابل گونه و لجن فاضلاب بر میزان ابتلای درختان صنوبر به این آفت معنی‌دار نبود. در دو ماه آخر این فصل رویش به میزان بسیار کم آفت سوسک چوب‌خوار صنوبر، روی برخی درختان صنوبر تبریزی و شته مومی تنه روی برخی درختان صنوبر کبوده مشاهده شد، اما درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب تفاوتی را ازنظر این آفات نشان ندادند.

جدول ۳- تجزیه واریانس درصد ابتلا به آفت سنک روی درختان صنوبر تبریزی و کبوده تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب (سه ماهه دوم فصل رویش دوم)

**Table 3. Variance analysis of pest percentage (*M. unicostata*) on *P. nigra* and *P. alba* trees under sewage sludge treatments (the second quarter of the second growing season)**

| Variation source | df | Mean square | F | *P* value |
|---|---|---|---|---|
| **Species** | 1 | 5976.88 | 126.71 | 0.000** |
| **Sewage sludge treatment** | 2 | 1.16 | 0.025 | 0.976 ns |
| **Species × Sewage sludge treatment** | 2 | 207.38 | 4.39 | 0.057 ns |
| **Error** | 12 | 47.16 | - | |

**: Significant at P<0.01; ns: Non-significant




**شکل ۳- میانگین درصد ابتلا به آفت سنک در نهال‌های صنوبر تبریزی و کبوده در تیمارهای لجن فاضلاب در سه ماهه دوم فصل رویش دوم (میانگین ± اشتباه معیار)؛ C: تیمار شاهد، ST1: تیمار ۲۰kg/m² لجن، ST2: تیمار ۴۰kg/m² لجن**

**Figure 3. Pest percentage of *M. unicostata* in *P. nigra* and *P. alba* trees affected by sewage sludge treatments in the second quarter of the second growing season (means ± SE); C: control, ST1: 20 kg/m² sewage sludge treatment, ST2: 40 kg/m² sewage sludge treatment**

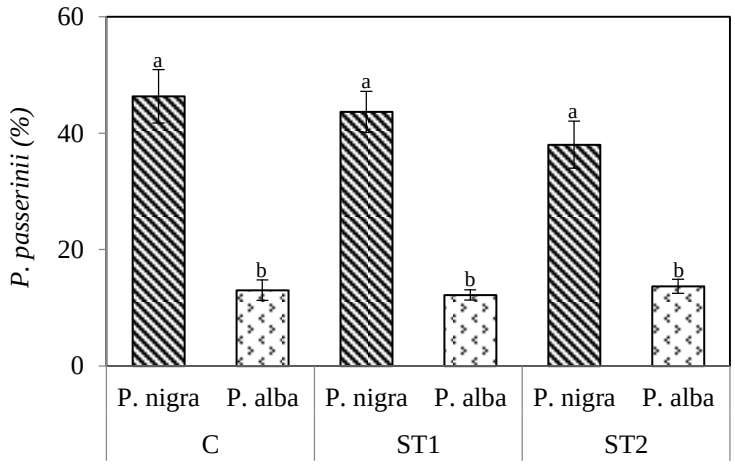
در فصل سوم رویش، مهمترین آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر تبریزی، آفت شته مومی تنه و شته برگی و درختان صنوبر کبوده، آفت شته مومی تنه و سنک بود. همچنین، به میزان بسیار کم روی برخی درختان صنوبر تبریزی آفت سوسک چوب‌خوار مشاهده شد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، عامل گونه روی درصد ابتلا به آفت شته مومی تنه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که میانگین درصد ابتلای درختان صنوبر تبریزی به این آفت در هر سه تیمار لجن فاضلاب ۴۲درصد و در درختان صنوبر کبوده ۱۳درصد بود. درواقع، درصد ابتلای درختان صنوبر تبریزی به این آفت تقریباً ۳/۵ برابر درختان صنوبر کبوده بود. البته تأثیر عامل لجن فاضلاب و تأثیر متقابل گونه و لجن فاضلاب بر میزان ابتلای درختان صنوبر به این آفت معنی‌دار نبود (جدول ۴ و شکل ۴). درصد ابتلا به آفات سنک روی درختان صنوبر کبوده و شته برگی روی درختان صنوبر تبریزی در جدول ۵ و شکل ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، کوددهی درختان صنوبر دو گونه با لجن فاضلاب تأثیر معنی‌داری بر درصد ابتلا به آفات یادشده نداشت. شایان ذکر است، میانگین درصد ابتلای درختان صنوبر کبوده به آفت سنک ۲۱/۶۶درصد و میانگین درصد ابتلای درختان صنوبر تبریزی به آفت شته برگی ۲۲/۷۴ درصد بود.

**جدول ۴- تجزیه واریانس درصد ابتلا به آفت شته مومی درختان صنوبر تبریزی و کبوده تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب (فصل رویش سوم)**

**Table 4. Variance analysis of pest percentage (*P. passerinii*) on *P. nigra* and *P. alba* trees under sewage sludge treatments (the third growing season)**

| | | *P. passerinii* | | |
|---|---|---|---|---|
| **Variation Source** | **df** | **Mean Square** | **F** | ***P* value** |
| **Species** | 1 | 4050.01 | 77.47 | 0.000** |
| **Sewage sludge treatment** | 2 | 26.16 | 0.501 | 0.618ns |
| **Species × Sewage sludge treatment** | 2 | 29.16 | 0.558 | 0.587ns |
| **Error** | 12 | 52.27 | - | - |

**: Significant at P<0.01; ns: Non-significant




شکل ۴- میانگین درصد ابتلا به آفت شته مومی در نهال‌های صنوبر تبریزی و کبوده در تیمارهای لجن فاضلاب در فصل رویش سوم (میانگین ± اشتباه معیار)؛ **C**: تیمار شاهد، **ST1**: تیمار ۲۰kg/m$^2$ لجن، **ST2**: تیمار ۴۰kg/m$^2$ لجن

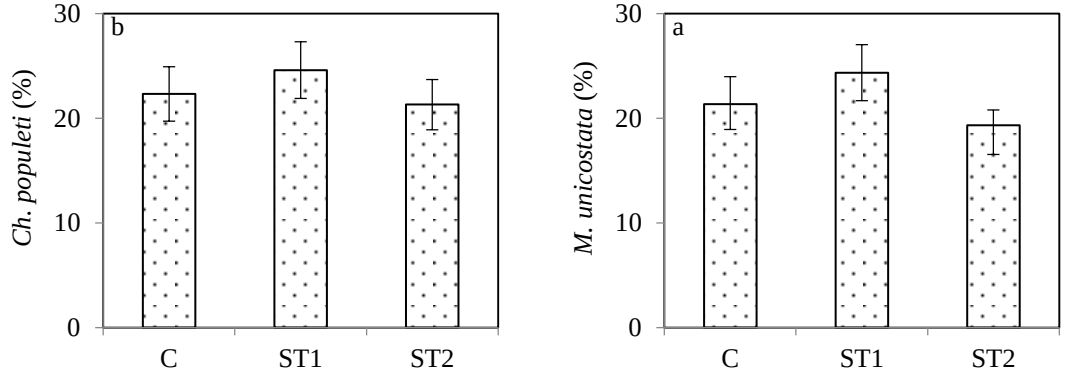
**Figure 4. Pest percentage of *P. passerinii* in *P. nigra* and *P. alba* trees affected by sewage sludge treatments in the third growing season (means ± SE); C: control, ST1: 20 kg/m$^2$ sewage sludge treatment, ST2: 40 kg/m$^2$ sewage sludge treatment**

جدول ۵- تجزیه واریانس درصد ابتلا به آفات سنک و شته برگی روی درختان صنوبر تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب (فصل رویش سوم)

**Table 5. Variance analysis observed pests on poplar trees under sewage sludge treatments (the third growing season)**

| | | ***M. unicostata* (*P. alba*)** | | | ***Ch. populeti* (*P. nigra*)** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Variation source** | **df** | **Mean square** | **F** | ***P* value** | **Mean square** | **F** | ***P* value** |
| **Sewage sludge treatment** | 2 | 19.01 | 0.438 | 0.664 ns | 8.77 | 0.387 | 0.695 ns |
| **Error** | 6 | 43.33 | - | - | 22.66 | - | - |

ns: Non-significant




شکل ۵- میانگین درصد ابتلا به آفات سنک در درختان صنوبر کبوده (**a**) و شته برگی در درختان صنوبر تبریزی (**b**) تحت تأثیر تیمارهای لجن فاضلاب در فصل رویش سوم (میانگین ± اشتباه معیار)؛ **C**: تیمار شاهد، **ST1**: تیمار ۲۰kg/m$^2$ لجن، **ST2**: تیمار ۴۰kg/m$^2$ لجن

**Figure 5. Average percentage of *M. unicostata* on *P. alba* (a) and *Ch. Populati* on *P. nigra* (b) trees affected by sewage sludge treatments in the third growing season (means ± SE); C: Control treatment ST1: 20 kg/m$^2$ sewage sludge treatment, ST2: 40 kg/m$^2$ sewage sludge treatment**

در فصل رویش چهارم، متأسفانه به علت خشک‌سالی‌های اخیر و در برخی موارد آبیاری نامنظم درختان، برخی درختان صنوبر دو گونه در برخی ماه‌ها به‌ویژه ماه‌های گرم سال دچار تنش آبی شدند و همین موضوع درختان صنوبر را مستعد ابتلا به برخی آفات کرد. بررسی میدانی درختان صنوبر نشان داد که میزان ابتلاء درختان صنوبر تبریزی تحت تنش آبی به آفت سوسک چوب‌خوار بین ۳۰ تا ۴۰ درصد و میزان ابتلای درختان صنوبر کبوده تحت تنش آبی به آفت شته مومی بین ۲۵ تا ۳۵ درصد بود. همچنین، به میزان کم آفت سنک روی برگ برخی درختان صنوبر دو گونه مشاهده شد. در این فصل رویش نیز بین درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب تفاوتی از نظر آفات یادشده مشاهده نشد.

مقایسه درختان صنوبر دو گونه تبریزی و کبوده طی چهار فصل رویش در تیمارهای موردبررسی نشان داد، در فصل رویش اول آفت مهمی روی این دو گونه صنوبر مشاهده نشد. در فصل دوم رویش، مهمترین آفت مشاهده‌شده، روی هر دو گونه که باعث خسارت جزئی به درختان به شکل خزان برگ در اواسط فصل رویش شد، آفت سنک صنوبر بود که شدت ابتلای درختان صنوبر کبوده به این آفت تقریباً دو برابر درختان صنوبر تبریزی بود. در فصل سوم رویش، مهمترین آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر تبریزی، آفت شته مومی تنه و شته برگی و درختان صنوبر کبوده، آفت شته مومی تنه و سنک بود. در فصل چهارم رویش، به‌دلیل تنش آبی ایجادشده، مهمترین آفت مشاهده‌شده روی درختان صنوبر تبریزی سوسک چوب‌خوار و روی درختان صنوبر کبوده شته مومی بود که این موضوع نشان می‌دهد درختان صنوبر کبوده ازنظر ابتلا به آفت سوسک چوب‌خوار، که خسارت اقتصادی به درخت وارد می‌کند، مقاوم‌تر از درختان صنوبر تبریزی هستند (جدول ۶).

**جدول ۶- نتایج پایش چهارساله آفات مهم دو گونه صنوبر تبریزی و کبوده**

**Table 6. Results of four-year surveillance of pests in P. nigra and P. alba trees**

| Growing season | Species | The most important observed pests |
|---|---|---|
| **First growing season** | *P. nigra* | - |
| | *P. alba* | - |
| **Second growing season** | *P. nigra* | *M. unicostata* |
| | *P. alba* | *M. unicostata, Ch. populeti* |
| **Third growing season** | *P. nigra* | *Ph. Passerinii, Ch. populeti* |
| | *P. alba* | *Ph. Passerinii, M. unicostata* |
| **Fourth growing season** | *P. nigra* | *M. picta* |
| | *P. alba* | *Ph. passerinii* |

## بحث

به‌طورکلی آفات و بیماری‌های مختلفی به‌عنوان تهدیدکننده و آسیب‌زننده‌های بالقوه برای بیدزارها (Ahman, 2001; Collins *et al*., 2001) و صنوبرکاری‌ها (Nikdel & Dordaei, 2011; Babmorad *et al*., 2010; Babmorad & Askary, 2003) توسط پژوهشگران گزارش شده است. تجربه و گزارش‌های موجود نیز نشان می‌دهد، آفات و بیماری‌های مختلفی می‌تواند موفقیت چنین کشت‌وکارهایی را تهدید کند. درواقع، تعدادی از گونه‌های حشرات و کنه‌ها با تغذیه از اندام‌های مختلف صنوبر، خسارت کمی و کیفی شدیدی ایجاد می‌کنند و عملکرد چوب در واحد سطح را کاهش می‌دهند. درنتیجه به موازات مطالعاتی که با هدف شناسایی گونه‌ها و کلن‌های سازگار و با عملکرد بالا انجام می‌شود، بررسی عوامل خسارت‌زای

آنها نیز لازم و ضروریست. همان‌طور که در منابع ذکر شده است، در یک تقسیم‌بندی کلی آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر به سه دسته شامل آفات برگ‌خوار و جوانه‌خوار، آفات مکنده اندام هوایی و آفات چوب‌خوار و ریشه‌خوار تقسیم می‌شوند. ازآنجایی‌که آفات برگ‌خوار و جوانه‌خوار صنوبر معمولاً در خزانه و نهالستان‌های صنوبر مشاهده می‌شوند (Babmorad & Zeinali, 2022)، در پایش چهارساله درختان صنوبر تبریزی و کبوده، آفت برگ‌خوار یا جوانه‌خواری با شدت خسارت بالا روی درختان صنوبر مشاهده نشد. فقط همان‌طور که در قسمت نتایج ذکر شد، در سه ماهه اول فصل رویش اول، گونه‌هایی از پروانه‌های برگ‌خوار صنوبر روی برخی درختان صنوبر دو گونه موردمطالعه مشاهده گردید. در مقابل، در هر دو گونه روی درختان صنوبر تیمارهای مختلف لجن فاضلاب، طی فصول رویش موردبررسی آفات مکنده و چوب‌خوار مشاهده شد.

کاشت درختان تندرشد مانند بید (*Salix* spp.) و صنوبر (*Populus* spp.) در اراضی متأثر از پسماندها با اهداف دوگانه شامل تصفیه پسماندها و درعین‌حال تولید انرژی تجدیدپذیر در کشورهای مختلف متداول است (Makovskis *et al*., 2023; Marron, 2015; Larsson, 2003). همچنین، در دهه‌های اخیر مقدار فزاینده‌ای از لجن فاضلاب و زباله‌های زیستی کمپوست‌شده برای افزایش حاصلخیزی خاک برای افزایش تولیدات گیاهی در کشت‌وکارها استفاده شده است. اما از سوی دیگر، نگرانی آلودگی محصولات زراعی، باغی، جنگلی، یا گلخانه‌ای با پاتوژن‌های گیاهی در اثر کوددهی با پسماندها وجود دارد (Mikkelsen *et al*., 2006). کوددهی با فاضلاب و لجن فاضلاب می‌تواند عملکرد رشد و ترکیب شیمیایی اندام‌های گیاه را تحت تأثیر قرار دهد. این موضوع به‌نوبه خود می‌تواند بر مناسب‌شدن گیاه ازنظر ایجاد میکرو اقلیم و تغذیه به‌عنوان میزبان آفات و بیماری‌ها تأثیرگذار باشد. همچنین، این احتمال وجود دارد که ترکیب شیمیایی پسماند مورداستفاده برای گیاه مناسب نباشد و گیاه را مستعد ابتلا به آفات و بیماری‌ها نماید (Ahman & Wilson, 2008). از سوی دیگر، با توجه به بالا بودن سطح عناصر غذایی موجود در پسماندها به‌ویژه ازنظر نیتروژن و فسفر، این فرضیه وجود دارد که آفات و بیماری‌های بیشتری چنین صنوبرکاری‌هایی را تهدید نماید (Minhas *et al*., 2022).

در پژوهش پیش‌رو، مقایسه درختان صنوبر دو گونه صنوبر تبریزی و کبوده ازنظر ابتلا به آفات مشاهده‌شده در تیمارهای مختلف لجن فاضلاب طی چهار فصل رویش نشان داد، کوددهی با لجن فاضلاب تأثیر مثبت یا منفی معنی‌داری بر میزان ابتلای درختان صنوبر به آفات و بیماری‌ها نداشت. مطابق با نتایج به‌دست‌آمده، Ahman و Wilson (۲۰۰۸) با بررسی درختان بید (*Salix viminalis*) کوددهی‌شده با فاضلاب و لجن فاضلاب در چهار صنوبرکاری واقع در کشورهای سوئد، ایرلند شمالی، فرانسه و یونان گزارش کردند، این نوع کوددهی تأثیر منفی بر میزان ابتلای درختان صنوبر به آفاتی مانند حشرات برگ‌خوار، شته‌های ساقه و زنگ برگی نداشت. همچنین، Panasiewicz و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر کاربرد لجن فاضلاب روی درختان بید (*Salix viminalis* L.) و Guoqing و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر کاربرد لجن فاضلاب کمپوست‌شده روی یک توده صنوبرکاری، طغیان آفت یا بیماری را روی درختان موردبررسی گزارش نکردند. شایان ذکر است، در کل گزارش‌های کمی در مورد تأثیر کاربرد پسماندها روی آفات و بیماری‌های صنوبرکاری‌ها و بیدزارها گزارش شده است. در مطالعات پیشین منتشرشده اثرهای منفی بالقوه‌ای از کاربرد پسماندها روی عملکرد و تولید بیدزارها یا صنوبرکاری‌ها به علت افزایش مرگ‌ومیر گیاه، آلودگی آفات، یا سایر تأثیرات منفی پاتوژن‌ها مشاهده نشده است (Holm & Heinsoo, 2013; Ahman & Wilson, 2008). در مقابل، Augustin و همکاران (۱۹۹۷) گزارش کردند، در صنوبرهای آبیاری‌شده با پساب کارخانه خمیر و کاغذ، سوسک‌های برگ‌خوار (*Chrysomela scripta*) از صنوبرها تغذیه کردند و عملکرد صنوبرها را به‌صورت منفی تحت تأثیر قرار دادند.

تجربه نشان داده است، زراعت چوب و کشت‌وکار با گونه‌های تندرشد وابستگی زیادی به منابع آبی دارد و بروز خشک‌سالی و تنش آبی بیشترین تأثیر را در آسیب‌پذیری درختان صنوبر به آفات و بیماری‌ها دارد. مطالعه پیش‌رو نیز نشان داد، به‌دلیل تنش آبی واردشده به درختان صنوبر در فصل رویش چهارم، درختان صنوبر مستعد ابتلا به آفات سوسک چوب‌خوار و شته مومی شدند. در مطالعات متعدد نیز سوسک چوب‌خوار به‌عنوان یکی از مهمترین آفات درختان صنوبر بیان شده است (Babmorad & Zeinali, 2022). نکته جالب توجه این است که تنش آبی در درختان صنوبر تبریزی با ابتلا به آفت سوسک چوب‌خوار و در درختان صنوبر کبوده با ابتلا به آفت شته مومی نمایان شد. همچنین، در فصل دوم رویش طغیان آفت سنک صنوبر روی هر دو گونه با شیوع بیشتر در درختان صنوبر کبوده مشاهده و منجر به ریزش زودهنگام برگ‌ها در درختانی با ابتلای شدید آلودگی شد. در مطالعات متعدد نیز سنک (Monosteira unicostata) به‌عنوان یکی از آفات مهم صنوبرکاری‌ها ذکر شده است (Babmorad *et al*., 2012; Talhouk, 1977).

نتیجه‌گیری

در دهه‌های اخیر با توجه به اهمیت مدیریت و دفع مناسب لجن فاضلاب تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از یکسو و کاربرد آن به‌عنوان یک پسماند آلی ارزان‌قیمت در زراعت چوب و جنگل‌کاری‌ها به‌منظور بهبود سطح مواد آلی و عناصر غذایی خاک و درنتیجه افزایش تولید چوب و بازده اقتصادی در واحد سطح و کاهش استفاده از کودهای شیمیایی ناسازگار با محیط‌زیست از سوی دیگر، استفاده از این پسماند آلی در کشت‌وکارها متداول شده است. اما، نگرانی از جهت افزایش ابتلای گیاهان کشت‌شده به آفات و بیماری‌ها در اثر کوددهی با پسماندها آلی وجود دارد. این مطالعه نشان داد، کوددهی با لجن فاضلاب تأثیر کاهشی یا افزایشی بر میزان ابتلا و آلودگی به آفات مشاهده‌شده روی درختان صنوبر دو گونه تبریزی و کبوده نداشت. درنتیجه، با رعایت مسائل محیط‌زیستی و توجه به سایر موضوعات مرتبط، با استفاده از لجن فاضلاب در زراعت چوب، لجن فاضلاب به‌عنوان یک گزینه کودی می‌تواند در زراعت چوب مطرح باشد. از سوی دیگر، مقایسه دو گونه صنوبر تبریزی و کبوده ازنظر ابتلا به آفات طی چهار فصل رویش موردبررسی نشان داد، درختان صنوبر کبوده نسبت به درختان صنوبر تبریزی نسبت به آفت سوسک چوب‌خوار که خسارت اقتصادی به درخت وارد می‌کند، مقاوم‌تر بودند.

## References


-Abaii, M. and Adeli, E., 1983. Pests of forest trees and shrubs of Iran. Agricultural Research Education and Extention Organization, Plant Pests and Diseases Research Institute, Tehran, 147p (In Persian).

-Ahman, I., 2001. Management of pests and diseases in biomass willow. Journal of the Swedish Seed Association, 111: 98-103.

-Ahman, I. and Wilson, F., 2008. Symptoms of pests, rust and other disorders on leaves of willow fertilised with wastewater, urine or sewage sludge. Biomass and Bioenergy, 32: 1001-1008.

-Augustin, S., Wagner, M.R., Chenault, J. and Clancy, K.M., 1997. Influence of pulp and paper mill wastewater on *Chrysomela scripta* (Coleoptera: Chrysomelidae) performance and *Populus* plant traits. Environmental Entomology, 26: 1327-35.

-Babmorad, M. and Askary, H., 2003. Biological study on poplar lace bug, *Monosteita unicostata* Muls. & Rey (Het.: Tingidae) in laboratory and greenhouse conditions. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 1(2): 119-132 (In Persian).

-Babmorad, M. and Zeinali, S., 2022. Investigation of the harmful and beneficial arthropods associated with poplar species in Tehran and Alborz Provinces. Iran Nature, 7(5): 63-78 (In Persian).

-Babmorad, M., Azizkhani, E. and Zeinali, S., 2010. Poplar pssylid, *Camarotoscena fulgidipennis Loginova* (Hom.: Psyllidae) damage on poplar species and clones in Karaj, Iran. Iranian Journal of Forest and Range Protection Research, 8(2): 119-127 (In Persian).

-Babmorad, M., Hesamzadeh.Hejazi, S.M., Bagheri, R., Sadeghi, S.E. and Zeinali, S., 2012. Comparing the

oviposition rate of *Monosteira unicostata* (Mulsant & Rey) on poplar clones in Karaj. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 20(4): 678-669 (In Persian).

-Baran, A., Cayci, G., Kutak, C. and Hartmann, R., 2001. The effect of grape mare as growing medium on growth of hypostases plant. Biosolid-Technology, 78: 103-106.

-Bouyoucos, G.J., 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. Agronomy Journal, 54(5): 464-465.

-Bremner, J.M., 1996. Nitrogen-total: 1085-1121. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., … and Sumner, M.E. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, 1390p.

-Collins, C.M., Rosado, R. and Leather, S.M., 2001. The impact of the aphids *Tuberolachnus salignus* and *Pterocomma salicis* on willow trees. Annals of Applied Biology, 138: 133-40.

-Guoqing, X., Xiuqin, C., Liping, B., Hongtao, Q. and Haibo, L., 2019. Absorption, accumulation and distribution of metals and nutrient elements in poplars planted in land amended with composted sewage sludge: A field trial. Ecotoxicology and Environmental Safety, 182: 109360.

-Holm, B. and Heinsoo, K., 2013. Municipal wastewater application to short rotation coppice of willows-treatment efficiency and clone response in Estonian case study. Biomass and Bioenergy, 57: 126-135.

-Khial, B. and Sadraei, N., 1984. Poplar pest's investigation in Iran. Research Institute of Forests and Rangelands Puplication, 117 p (In Persian).

-Larsson, S., 2003. Short-rotation willow biomass plantations irrigated and fertilized with wastewaters-results from a 4-year multidisciplinary field project in Sweden, France, Northern Ireland and Greece supported by the EU-FAIR Programme (FAIR5-CT97-3947). European Commission DG VI, Agriculture; Final report.

-Makovskis, K., Kārlis, D., Toms, A.Š., Viktorija, V., Arta B. and Dagnija, L., 2023. Long term effect of wood ash and wastewater sludge fertilization on tree growth in short-rotation forest plantations on abandoned agricultural land: A case study. Sustainability, 23: 16272.

-Marron, N., 2015. Agronomic and environmental effects of land application of residues in short-rotation tree plantations: A literature review. Biomass and Bioenergy, 81: 378-400.

-Mclean, E.O., 1982. Soil pH and lime requirement: 199-224. In: Page, A.L. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.

-Mikkelsen, L., Elphinstone, J. and Jensen, D., 2006. Literature review on detection and eradication of plant pathogens in sludge, soils and treated biowaste. Desk study on bulk density. Bruxelles: The European Commission DG RTD under the Framework.

-Minhas, P.S., Saha, J.K., Dotaniya, M.L., Sarkar, A. and Saha, M., 2022. Wastewater irrigation in India: Current status, impacts and response options. Science of the Total Environment, 20: 808:152001.

-Moffat, A.J., Armstrong, A.T. and Ockleston, J., 2001. The optimization of sewage sludge and effluent disposal on energy crops of short rotation hybrid poplar. Biomass and Bioenergy, 20: 161-169.

-Nelson, D.W. and Sommers, L.E., 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter: 961-1010. In: Sparks, D.L., Page, A.L., Helmke, P.A., Loeppert, R.H., Soltanpour, P.N., Tabatabai, M.A., … and Sumner, M.E. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 3: Chemical Methods. Soil Science Society of America, Inc., American Society of Agronomy, Inc., Madison, Wisconsin, 1390p.

-Nikdel, M. and Dordaei, A., 2011. Antixenosis resistance of different poplar clones to three important pest in East Azarbaijan, Iran. Journal of Iranian Plant Protection Research, 24(4): 481-488 (In Persian).

-Panasiewicz, K., Niewiadomska, A., Sulewska, H., Wolna-Maruwka, A., Borowiak, K., Budka, A. and Ratajczak, K., 2019. The effect of sewage sludge and BAF inoculant on plant condition and yield as well as biochemical and microbial activity of soil in willow (*Salix viminalis* L.) culture as an energy crop. PeerJ, 7: e6434.

-Rajabi Mazhar, A., Farashiani, M.E., Babmorad, M., Hashemi Khabir, Z., Alavi, J., Mohammadpour, P., Taghizadeh, M., Mansorghazi, M., Mehravaran, D., Tavakoli, M., Haghighian, F., Farahani, S., Askary, H. and Zamani, S.M., 2023. Monitoring of important pests and disease of poplar trees in Iran. 3 rd National Congress on Forest and Range Protection in Iran. May 9-10, Research Institute of Forests and Rangelands, Page 14 (In Persian).

-Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts: 167-179. In: Page, A.L. (Eds.). Methods of Soil Analysis, Part 2: Chemical and Microbiological Properties, Second Edition. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, 1159p.

-Royle, D.J. and Ostry, M.E., 1995. Disease and pest control in the bioenergy crops poplar and willow. Biomass and Bioenergy, 9: 66-79.

-Sadeghi, S.E., Salehi, M. and Askary, H., 2001. Poplar

pest management in Northern provinces of lran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 7 (1): 1-34 (In Persian).

-Salehi, A., Calagari, M. and Ahmadloo, F., 2018. Effect of some soil properties on growth of three-year black poplar (*Populus nigra* L.) trees in poplar plantations in south of Tehran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 26(3): 344-354 (In Persian).

-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.

-Shodjaei, M., 1986. Investigation of biological and ecological characteristics of insect background and resistance of poplar trees in Iran. Proceedings of the seminar on the importance of poplar, Institute of Forests and Rangelands Research, 45: 27-35 (In Persian).

-Sixto, H., Grau, J.M., Alba, N. and Alia, R., 2005. Response to sodium chloride in different species and clones of genus *Populus* L. Forestry, 78(1): 93-104.

-Talhouk, As., 1977. Contribution to the knowledge of almond pests in East Mediterranean countries. VI. The sap-sucking pests. Zeitschrift fur Angewandte, Entomologie, 83(3): 248-257.

-Zhang, Y.H., Tian, Y., Ding, S.H., Lv, Y., Samjhana, W. and Fang, S.Z., 2020. Growth, carbon storage, and optimal rotation in poplar plantations: a case study on clone and planting spacing effects. Forests, 11(8): 842.