

Identification and Pathogenicity of *Phytophthium* Species on Ornamental Plants in Shiraz City

1. Delaram Delshad¹: Department of Plant Protection, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
2. Fatemeh Salmaninezhad²: Department of Plant Protection, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran
3. Hossein Masigol³: Bermuda Institute of Ocean Sciences, Arizona State University17 Biological Station, St. George's, Bermuda
4. Reza Mostowfizadeh-Ghalemfarsa^{4*}: Department of Plant Protection, School of Agriculture, Shiraz University, Shiraz, Iran

*Corresponding Author's Email Address: rmostofi@shirazu.ac.ir

Article Type:

Original Research

How to Cite: Delshad, D., Salmaninezhad, F., Masigol, H., & Mostowfizadeh-Ghalemfarsa, R. (2025). Identification and Pathogenicity of *Phytophthium* Species on Ornamental Plants in Shiraz City. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 61(1-2), 83-108.

DOI: 10.22034/IJPP.2026.2021900.516

Abstract:

Plants in urban green spaces play a vital role in maintaining ecological balance, reducing air pollution, and enhancing the human health. However, these plants are susceptible to a wide range of pathogens and pests. In recent years, numerous reports have noted the presence of different *Phytophthium* species in ornamental plants within green spaces. In this study, soil, root, and crown-rot samples were collected from ornamental plants in Shiraz city to investigate the *Phytophthium* spp. biota from green spaces and parks across 11 municipal districts of Shiraz. To verify the morphological and morphometric identification, phylogenetic analysis was conducted using the genes from subunit I of cytochrome c oxidase. In addition to *P. vexans* complex, three species, including *P. litorale*, *P. ostracodes*, and *Phytophthium* sp.1 were obtained from the green space of Shiraz city, and all belonged to clade 1 of this genus. This is the first global report documenting that *P. litorale* is pathogenic on Persian cypress tree and *P. vexans* on plane tree. Based on the analysis of the cytochrome c oxidase subunit I (*coxI*) gene, a new taxon, *Phytophthium* sp.1, was identified among the isolates, and its formal description is currently underway. Furthermore, an examination of various biodiversity indices for the *Phytophthium* species community isolated from ornamental plants in Shiraz revealed that this community possesses a diverse and relatively balanced structure.

Keywords: Ornamental plants, *Phytophthium*, Pathogenicity, Morphological identification, Phylogenetic analysis



© 2025 the authors. Published by Maher Publishing Institute. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) License.

Extended Abstract

Introduction

The importance of the environment and green spaces for the sustainability of nature and human beings cannot be overstated. Creating suitable green space in urban and industrial areas based on scientific principles and rules can reduce the harmful effects of environmental pollution (Nowak et al., 2014). Moreover, protecting plants, trees, and urban green spaces is crucial because they directly improve human health and quality of life. In recent years, numerous reports have documented various *Oomycota*, such as species from the genera *Phytophthora*, *Phytophthium*, and *Pythium* in ornamental plants within green spaces globally, including in Iran (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2019; Yang et al., 2017).

The genus *Phytophthium* is newly described and includes species formerly classified as clade K of *Pythium* (Bala et al., 2010; Baten et al., 2014; Baten et al., 2015). Many species assigned to the genus *Phytophthium* are important plant pathogens of agricultural and ornamental plants, causing root and crown rot and seedling blight diseases (Baten et al., 2014). Numerous reports have documented the detrimental effects of pathogens in the genus *Phytophthium* on agricultural crops and ornamental trees and shrubs worldwide (e.g., Jung et al., 2020).

In Iran, there have been various reports on the pathogenicity of *Phytophthium* species. In Shiraz, five *Phytophthium* species, including *P. litorale*, *P. oedochilum*, *P. ostracodes*, *P. palingenes*, and *P. babaiaharii* have been reported from ornamental plants (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2019, 2023). Although there are reports of the pathogenicity of different species of oomycetes in other parts of Iran in ornamental plants (Mirabolfathly & Ershad, 1996; Ranjbaran et al., 2006), a comprehensive study on the biodiversity, species composition, and pathogenicity of the *Phytophthium* spp. in ornamental plants within Shiraz city has been lacking. Given

the ecological and aesthetic importance of ornamental plants, the present study aimed to identify and characterize *Phytophthium* species associated with ornamental plants in Shiraz using integrated morphological and phylogenetic analyses.

Methods and Materials

Rhizosphere soil, crown, and root samples were randomly collected from parks, green spaces, and greenhouses in Shiraz city from ornamental trees and plants exhibiting symptoms of crown and root rot. Isolation was performed using the baiting method. The isolates were identified based on morphological and physiological characteristics using standard keys and references (de Cock et al., 2015; Jesus et al., 2016; Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2016; Van der Plaats-Niterink, 1981). Phylogenetic analyses were conducted to confirm the identification of the isolates. DNA was extracted from the samples using the CTAB method (Delshad et al., 2025). The *COXI* gene region was amplified by PCR using the method described by Robideau et al. (2011). Pathogenicity tests were conducted on the host plants using the prepared inoculum. To compare the biodiversity of *Phytophthium* species, we calculated the Shannon-Wiener, Simpson, Gini-Simpson, Pielou's evenness, and species richness indices (Jost, 2006).

Results and Discussion

A total of 304 oomycete isolates were obtained from rhizosphere soil, crown, and root samples collected from ornamental plants showing symptoms of crown and root rot. Among these, 96 isolates were identified as *Phytophthium* spp., belonging to the species *P. litorale*, *P. ostracodes*, and *P. vexans*. Phylogenetic inference based on the mitochondrial *COXI* gene revealed that *P. vexans* isolates formed two well-supported clades, designated *P. vexans* GI and *P. vexans* GII. In addition, several isolates obtained from different ornamental hosts did not correspond to any previously described *Phytophthium* species. The results

showed that these isolates represent a novel *Phytophthium* species, temporarily designated as *Phytophthium* sp. 1. Biodiversity analysis revealed that among the five studied species, *P. vexans* GI had the highest relative abundance and *P. litorale* had the lowest. Species richness was five, while Shannon's diversity index and Simpson's index were 1.6 and 0.2, respectively.

During the course of this study, five *Phytophthium* taxa, including *P. litorale*, *P. ostracodes*, *P. vexans* GI, *P. vexans* GII, and *Phytophthium* sp.1, were obtained from the crown and roots of ornamental plants in Shiraz. The results indicate, for the first time, that *P. litorale* is pathogenic to cypress (*Cupressus* spp.), and causes crown and root rot. Phylogenetic analyses have consistently revealed that *P. vexans* represents a complex species (de Cock et al., 2015; Delshad et al., 2025; Nguyen et al., 2022; Robideau et al., 2011; Spies et al., 2011). In the present study, mitochondrial cytochrome oxidase c subunit I (COXI) gene sequence analysis separated *P. vexans* isolates into two distinct and well-supported phylogenetic groups. To our knowledge, this study provides the first report of isolation and pathogenicity confirmation of the *P. vexans* species complex on plantain. According to phylogenetic analyses, all species in this study, except for *P. vexans* GI and GII, clustered within the *Phytophthium* clade 1 (Baten et al., 2014; Jesus et al., 2016). Clade 1 is the largest clade within the genus *Phytophthium*, and the majority of species recently reported from ornamental plants in Iran and worldwide belong to this clade (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalefarsa, 2023; Tkaczyk, 2020). *Phytophthium* species have a remarkable capacity to infect ornamental plants. In this study, the species richness was five, with *P. vexans* GI exhibiting the highest relative abundance (39 isolates) and *P. litorale* the lowest (6 isolates). The present study represents a foundational contribution to the understanding of the biodiversity and community structure of *Phytophthium* species in urban areas of southern Iran. Analysis of multiple biodiversity indices revealed that the *Phytophthium* spp. community associated with ornamental plants in Shiraz

displays moderate diversity and a relatively balanced community structure.

Conflict of Interest

There is no conflict of interest in conducting the present study.

Ethical Considerations

All ethical principles and standards were fully observed in the conduct of this research.

Acknowledgments

The authors express their gratitude to the Iranian Mycological Society for providing financial support for this study.

Author Contribution

Conceptualization, R.M.-G.; methodology, D.D., F.S., H.M., and R.M.-G.; validation, D.D., F.S., H.M., R.M.-G.; formal analysis, D.D.; investigation, D.D., F.S., and H.M.; resources, R.M.-G.; data curation, D.D.; writing—original draft preparation, D.D., and R.M.-G.; writing—review and editing, D.D., F.S., H.M., and R.M.-G.; visualization, D.D., and R.M.-G.; supervision, R.M.-G.; project administration, R.M.-G.; funding acquisition, R.M.-G.

شناسایی و بیماری‌زایی گونه‌های فیتوپیتوم در گیاهان زینتی شهر شیراز

۱. دلارام دلشاد^{ID}: دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش گیاهپزشکی، شیراز، ایران
۲. فاطمه سلمانی‌نژاد^{ID}: دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش گیاهپزشکی، شیراز، ایران
۳. حسین مسیگل^{ID}: دانشگاه ایالتی آریزونا، مؤسسه علوم اقیانوسی برمودا، ایستگاه زیست‌شناسی ۱۷، سنت جورج، برمودا
۴. رضا مستوفی‌زاده قلمفرسا^{ID}: دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، بخش گیاهپزشکی، شیراز، ایران
- *پست الکترونیک نویسنده مسئول: rmostofi@shirazu.ac.ir

نوع مقاله:

چکیده

پژوهشی اصیل

گیاهان در فضاهای سبز شهری نقش حیاتی در حفظ تعادل بوم‌شناختی، کاهش آلودگی هوا و افزایش سلامت جوامع بشری دارند. با این حال، این گیاهان مورد حمله طیف وسیعی از بیمارگرها و آفات قرار می‌گیرند. در سال‌های اخیر گزارش‌های متعددی از وجود گونه‌های مختلف متعلق به جنس *Phytophthora* از گیاهان زینتی در فضای سبز ارائه شده است. در این پژوهش به منظور بررسی زیواگان فیتوپیتومی گیاهان زینتی شهر شیراز، نمونه‌برداری از خاک و ریشه و طوقه‌ی گیاهان زینتی دارای علائم پوسیدگی از فضای سبز و بوستان‌های ۱۱ منطقه شهرداری شیراز صورت گرفت. علاوه بر شناسایی جدایه‌های به‌دست‌آمده بر اساس خصوصیات ریخت‌شناختی و ریخت‌سنجی واکاوی فیلوژنتیکی با ژن زیرواحد یک سیتوکروم اکسیداز سی نیز انجام شد. به جز جدایه‌هایی از گونه‌ی مرکب *P. vexans*، سه گونه‌ی شامل *P. litorale*، *P. stramonii* و *Phytophthora sp.1* از فضای سبز شیراز به دست آمد که همگی متعلق به تبار یک گونه‌های این جنس بودند. نتایج آزمون‌های بیماری‌زایی این پژوهش برای نخستین‌بار در دنیا نشان داد که *P. litorale* روی درخت سروناز و گونه‌ی مرکب *P. vexans* در چنار بیماری‌زا است. بر اساس واکاوی ژن زیرواحد یک سیتوکروم اکسیداز سی، آرایه‌ای جدید *Phytophthora umsp.1* در میان جدایه‌ها شناسایی گردید که توصیف آن در دست انجام است. بررسی شاخص‌های مختلف تنوع زیستی در جامعه‌ی گونه‌های فیتوپیتوم جداسازی‌شده از گیاهان زینتی شیراز نشان داد که این جامعه از ساختاری متنوع و نسبتاً متعادل برخوردار است.

تاریخ دریافت: ۲۸ بهمن ۱۴۰۴

تاریخ بازنگری: ۱۸ خرداد ۱۴۰۵

تاریخ پذیرش: ۲۰ خرداد ۱۴۰۵

نحوه استناددهی: دلشاد، دلارام، سلمانی‌نژاد، فاطمه، مسیگل، حسین، و مستوفی‌زاده قلمفرسا، رضا. (۱۴۰۴). شناسایی و بیماری‌زایی گونه‌های فیتوپیتوم در گیاهان زینتی شهر شیراز. *بیماری‌های گیاهی*، ۶۱(۱)-۸۳-۱۰۸.

DOI:

10.22034/IJPP.2026.2021900.516



مجوز و حق نشر: © ۱۴۰۴ تمامی حقوق انتشار این مقاله متعلق به نویسنده است. انتشار این مقاله توسط انتشارات ماهر به‌صورت دسترسی آزاد مطابق با گواهی (CC BY 4.0) صورت گرفته است.

کلیدواژه‌ها: گیاهان زینتی، *Phytophthora*، بیماری‌زایی، شناسایی ریخت‌شناختی و واکاوی فیلوژنتیکی

(Baten et al., 2014). گزارش‌های متعددی از اثرات زیان‌آور بیمارگرهای

جنس فیتوپیتوم در محصولات کشاورزی، درختان و درختچه‌ها زیتنی در سراسر جهان وجود دارد (Jung et al., 2020). به عنوان مثال می‌توان به گونه‌های *P. delawarenses* (Broders, P.E. Lipps, M.L. Ellis & Dorrance) Abad, de Cock, Bala, Robideau, Lohdi & Lévesque از سویا در ایالات متحد آمریکا، *P. kandeliae* (H.H. Ho, H.S. Chang & S.Y. Hsieh) Thines از جنگل‌های حرا در فیلیپین، *P. chamaeophyphon* (Sideris) Abad, de Cock, Bala, Robideau, *P. citrinum* (B. Paul) A.M. Lodhi & Lévesque از سویا در آمریکا و Abad, de Cock, Bala, Robideau, A.M. Lodhi & Lévesque از بلوط (*Quercus sp.*) و توسکا (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) در لهستان اشاره نمود (Bennett et al., 2017; Derviş et al., 2020).

در ایران نیز گزارش‌های مختلفی از بیماری‌زایی گونه‌های فیتوپیتوم وجود دارد. در شیراز شش گونه‌ی فیتوپیتوم شامل *P. litorale*، *P. oedochilum* (Drechsler) Abad, de Cock, Bala, Robideau, A.M. *P. palingenens* (Drechsler) Abad, de Cock, *P. ostracodes* و *P. vexans* Bala, Robideau, Lohdi & Lévesque *babaiaharii* از گیاهان زیتنی گزارش شده است (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2019, 2023). در آذربایجان غربی گونه‌های *P. babaiaharii* Rezaei, Abrinbana & Ghosta *boreale* (R.L. Duan) Abad, de Cock, Bala, Robideau, A.M. *P. carbonicum* (B. Paul) Abad, de Cock, Lodhi & Lévesque *P. longitubum* Bala, Robideau, A.M. Lodhi & Lévesque *P. mercuriale* (Belbahri, B. Rezaei, Abrinbana & Ghosta Paul & Lefort) Abad, de Cock, Bala, Robideau, A.M. Lodhi & Lévesque و *P. ostracodes* به عنوان عامل پوسیدگی طوقه و ریشه تعدادی از گیاهان زراعی جداسازی و گزارش شده است (Rezaei et al.,

تردیدی نیست که محیط‌زیست و فضای سبز از ارکان بنیادی پایداری حیات طبیعی و انسان به‌شمار می‌روند. ایجاد فضای سبز مناسب در مناطق شهری و صنعتی با رعایت اصول علمی باعث کاهش اثرات زیان‌آور آلودگی-های محیطی می‌شود (Nowak et al., 2014). از طرف دیگر نقش گیاهان، درختان و فضای سبز شهری در بهبود کیفیت سلامت زندگی انسان بر کسی پوشیده نیست، بنابراین حفاظت از آن اهمیت ویژه‌ای دارد. گیاهان در فضای سبز مورد حمله طیف وسیعی از بیمارگرها و آفات قرار می‌گیرند (Alilobonab et al., 2016). در سال‌های اخیر گزارش‌های متعددی از وجود گونه‌های مختلف *Oomycota* از جمله گونه‌های متعلق به جنس‌های *Phytophthora* Abad, de Cock, Bala, *Phytophthora* de Bary *Pythium* Pringsh و Robideau, Lodhi & Levesque از مناطق مختلف دنیا و ایران از درختان زیتنی در فضای سبز ارائه شده است (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2019;) (Yang et al., 2017).

جنس *Phytophthora* یک جنس جدید است که به تازگی توصیف شده و شامل گونه‌هایی می‌شود که پیش از این در تبار K از جنس *Pythium* قرار می‌گرفتند (Bala et al., 2010). بسیاری از گونه‌های این جنس، بیمارگرهای مهم گیاهان زراعی، باغی و زیتنی بوده، سبب بیماری‌هایی مانند سوختگی گیاهچه و پوسیدگی ریشه و طوقه می‌شوند (Gonçalves et al., 2006; Kageyama, 2014; Wrather & Koenning, 2016). تاکنون ۳۴ گونه برای این جنس توصیف شده است (Bala et al., 2010; Baten et al., 2015; Tkaczyk, 2020). بیشتر اعضای این جنس به صورت پوده‌زی در محیط‌های آب‌شیرین و خاک یافت می‌شوند (Nam & Choi, 2019). ولی برخی از گونه‌های فیتوپیتوم بیمارگر گیاهان زراعی، باغی، محصولات کشاورزی، درختان زیتنی و گیاهان آب‌کشت هستند

جداسازی، خالص‌سازی و نگهداری جدایه‌ها

مقدار ۱۰۰ گرم از هر نمونه‌ی خاک در ظروف پلاستیکی ریخته، تا یک سانتی‌متری بالای سطح خاک به آن آب مقطر سترون اضافه شد. از برگ نارنج (*Citrus aurantium* L.)، برگ لیموشیرین (*Citrus limetta* Risso) و برگ چمن (*Poa* sp.) برای طمعه‌گذاری استفاده شد. پس از ۲۴ ساعت قطعات برگ با آب مقطر شست‌وشو و روی محیط‌کشت CMA-PARP (محیط‌کشت CMA اصلاح شده با ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر پیماریسین، ۲۰۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر آمبی‌سیلین، ۱۰ میلی‌گرم در میلی‌لیتر ریفامپین و ۲۵ میلی‌گرم در میلی‌لیتر PCNB) (Jeffers & Martin, 1986) قرار داده شد. برای جداسازی از طوقه و ریشه، پس از شست‌وشوی بافت‌های دارای علائم در زیر جریان آب روان حداقل به مدت چهار ساعت، قطعاتی از طوقه‌ها و ریشه‌های بافت‌مرده بر روی محیط‌کشت WA (۱۵ گرم آگار، آب مقطر تا حجم یک لیتر) قرار داده و پس از رشد به محیط‌کشت CMA-PARP منتقل شد (Gunnell & Webster, 1988).

جدایه‌های به‌دست‌آمده روی محیط‌کشت WA (۱۶ گرم آگار، آب مقطر تا حجم یک لیتر) منتقل و به روش نوک ریشه خالص شد. جدایه‌های خالص‌شده برای نگهداری به محیط‌کشت CMA (عصاره‌ی ۴۰ گرم ذرت خرد شده، ۱۵ گرم آگار، آب مقطر تا حجم یک‌لیتر) منتقل و برای آزمایش‌های بعدی در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس نگهداری شد (Singleton et al., 1992). میانگین آهنگ رشد شعاعی در محیط‌کشت PCA (عصاره‌ی ۲۰ گرم سیب‌زمینی، عصاره‌ی ۲۰ گرم هویج، ۱۵ گرم آگار و آب مقطر تا حجم یک لیتر) بررسی شد. همچنین الگوی رشد پُرگنه‌ها در محیط‌کشت‌های HSA (عصاره‌ی ۶۰ گرم شاهدانه جوشانده، ۱۵ گرم آگار و آب مقطر تا حجم یک لیتر)، MEA (۲۰ گرم عصاره‌ی مالت، ۱۵ گرم آگار و آب مقطر تا حجم یک لیتر)، PDA (عصاره‌ی ۳۰۰ گرم سیب‌زمینی جوشانده، ۱۵ گرم آگار و آب مقطر تا

2021). با وجود این‌که گزارش‌هایی از بیماری‌زایی گونه‌های مختلف شاخه‌ی *Oomycota* در نقاط مختلف ایران در گیاهان زینتی وجود دارد (Mirabolfathly & Ershad, 1996; Ranjbaran et al., 2006)، تاکنون بررسی جامعی در مورد زیواگان فیتوپیتومی گیاهان زینتی و ساختار تنوع زیستی آن در شهرستان شیراز صورت نگرفته است. با توجه به اهمیت گیاهان زینتی، در این پژوهش به مطالعه و شناسایی ریخت‌شناختی و فیلوژنتیکی گونه‌های مختلف فیتوپیتوم در گیاهان زینتی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

نمونه‌برداری از طوقه و ریشه گیاهان زینتی

در پاییز سال ۱۳۹۸ و بهار ۱۴۰۰، نمونه‌برداری از خاک و طوقه و ریشه‌ی گیاهان و درختان زینتی دارای علائم پوسیدگی طوقه و ریشه شامل افرا (*Acer* sp.)، ازگیل (*Mespilus* sp.)، اکالیپتوس (*Eucalyptus camaldulensis*)، بید (*Salix* sp.)، بلوط (*Quercus* sp.)، توت (*Morus* sp.)، درختچه توری (*Lagerstroemia indica*)، ژربرا (*Gerbera aurantiaca* Sch.Bip.)، سپیدار (*Populus alba* L.)، سروناز (*Cupressus sempervirens* L.)، سروخرم‌های (*Platycladus orientalis* (L.) Franco)، نرگس درختی (*Philadelphus coronaries* L.)، کالانکوه (*Kalanchoe* sp.)، کاج ایتالیایی (*Pinus brutia* Ten.)، گل پریش (*Catharanthus roseus* (L.) G.Don)، گل آهار (*Zinnia* sp.)، گل کاغذی (*Bougainvillea* sp.) و یوکای بزرگ (*Yucca gigantea* Lem.) از بوستان‌ها، فضای سبز و گلخانه‌های سطح شهر شیراز (منطقه ۱ تا ۱۱) به صورت کاملاً تصادفی انجام گرفت. نمونه‌های به‌دست‌آمده برای بررسی بعدی به بخش گیاه‌پزشکی دانشگاه شیراز منتقل شد.

نرم‌افزار Clustal X (Thompson et al., 1997) انجام شد. واکاوی استنتاج بیزی (Bayesian inference) روی ژن‌های مورد بررسی در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار MrBayes v.3.1 (Ronquist & Huelsenbeck, 2003) با به کارگیری مدل جانیشینی GTR با پارامترهای گاما و نسبت ناحیه‌ی غیرمتغیر برای تطبیق آهنگ متغیرها بین نواحی، در چهار میلیون نسل، بسامد نمونه‌گیری ۱۰۰۰ و میزان ۲۵ درصد Burn-in انجام شد. همچنین از ره‌یافت درست‌نمایی بیشینه (Maximum Likelihood) با استفاده از نرم‌افزار MEGA7.0 برای برآورد توپوگرافی درخت‌های فیلوژنتیکی استفاده شد (Kumar et al., 2016). میزان قطعیت درخت‌های رسم شده با روش درست‌نمایی بیشینه نیز با ۱۰۰۰ دور بوت استراپ سنجیده شد. درخت‌های فیلوژنتیکی به دست آمده با نرم‌افزار TREEGRAPH (Stover & Muller, 2010) ویرایش و نمایش داده شد.

آزمون بیماری‌زایی

برای تهیه مایه‌ی بیمارگر، از محیط‌کشت عصاره‌ی شاهدانه و ورمیکولیت استفاده شد. ابتدا در کیسه‌های قابل اتوکلاو ۲۰۰ میلی‌لیتر ورمی‌کولیت ریخته و به آن ۱۲۰ میلی‌لیتر عصاره‌ی شاهدانه افزوده شد. مخلوط به‌دست‌آمده به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۲۱ درجه‌ی سلسیوس سه مرتبه، به صورت یک روز در میان، سترون گردید. سه روز بعد، از حاشیه پرگنه‌های جوان گونه‌های مورد نظر، تعداد ۱۰ تا ۱۲ عدد بلوک میسلیمی به کیسه‌ها افزوده و کیسه‌ها به مدت چهار هفته در تاریکی و ۲۵ درجه‌ی سلسیوس نگهداری شدند. از بلوک‌های آگار در کیسه‌های حاوی مخلوط عصاره‌ی شاهدانه و ورمیکولیت برای شاهد منفی استفاده شد. برای انجام مایه‌زنی مقداری از خاک اطراف طوقه در محل طوقه و ریشه‌های گیاهچه و نهال‌ها کنار زده شد و مقدار ۵۰ گرم از مایه‌ی کنار هر نهال‌ها قرار داده شد و سپس گلدان‌ها به مدت ۲۴ ساعت از آب اشباع شدند. برای ارزیابی زنده بودن بیمارگر، هر یک ماه یک بار در آب اضافی گلدان‌ها طمعه‌گذاری به روش برگ مرکبات انجام گرفت (Baniahshemi,

حجم یک لیتر) و CA (عصاره‌ی ۲۵۰ گرم هویج جوشانده، ۱۵ گرم آگار و آب مقطر تا حجم یک لیتر) مورد مطالعه قرار گرفت.

شناسایی ریخت‌شناختی گونه‌های فیتوپیتوم

شناسایی ابتدایی جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های ریخت‌شناختی و فیزیولوژیکی با استفاده از کلیدها و مقاله‌های موجود انجام (de Cock et al., 2015; Jesus et al., 2016; Mostowfizadeh-Ghahamfarsa, al., 2015; Van der Plaats-Niterink, 1981) شد.

مطالعات فیلوژنتیکی

به منظور تکمیل فرایند شناسایی آرایه‌ها ژن *COXI* توالی‌یابی و واکاوی فیلوژنتیکی انجام شد. استخراج دی‌ان‌ای به روش بافر سی‌تب از نمونه‌ها صورت گرفت (Delshad et al., 2025). فزون‌سازی دی‌ان‌ای با استفاده از آغازگرهای ژن *COXI* (5'-OomCoxI-Levup: و 3'-GCTTAAGTTCAGCGGGT-OomCoxI-Levlo: 5' و 3'-CYTCHGGRTGWCCRAAAAACCAAA-3') و توسط واکنش زنجیره‌ای پلیمرز به روش روبیدیو و همکاران (Robideau et al., 2011) انجام شد. مخلوطی از ۱۲/۵ میکرومول مسترمیکس (آمپلیکون، دانمارک)، ۵۰ نانوگرم از دی‌ان‌ای قالب و یک میکرومول از هر آغازگر با غلظت ۱۰ پیکومول در میکرولیتر برای واکنش‌های ۲۵ میکرولیتری تهیه شد. قطعات فزون‌سازی شده به مؤسسه‌ی لایبیز آلمان ارسال و توالی‌یابی شد. توالی‌های به‌دست‌آمده به روش دستی و با استفاده از نرم‌افزار GeneiousPro v4.8.1 (Drummond et al., 2010) ویرایش شد. رشته‌های برآیند پس از ارائه به بانک ژن (GenBank, NCBI, USA; [Online] <http://www.ncbi.nih.gov/BankIt/>) از طریق وب جهانی با استفاده از نرم‌افزار BankKit (GenBank, NCBI, USA; [Online] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/BankIt/>) و اخذ رَس‌شمار برای مطالعات بعدی استفاده شد. هم‌ردیف‌سازی ابتدایی توالی‌های ویرایش شده با

(Simpson's Index (D))، شاخص سیمپسون-جنی (Gini-Simpson's)

(Index (1-D))، شاخص یک‌نواختی پیلو (Pielou's evenness index)

(J) و غنای گونه‌ای (richness) استفاده شد (Jost, 2006). در این پژوهش

برای محاسبات روی داده‌ها از نرم‌افزار Microsoft Excel استفاده شد.

نتایج

نمونه‌برداری از خاک و بافت طوقه و ریشه‌ی گیاهان زینتی دارای علائم

پوسیدگی طوقه و ریشه منجر به جداسازی ۳۰۴ جدایه‌ی آُمیستی شد. از این

تعداد جدایه ۹۶ جدایه‌ی فیتوپیتوم بودند. مشخصات جدایه‌های فیتوپیتوم

به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری در جدول ۱ آمده است.

2004). بعد از گذشت ۲۴ ساعت، طعمه‌های برگ مرکبات با آب مقطر

سترون شسته و پس از خشک شدن در محیط‌کشت CMA-PARP کشت

داده شد. برای تأیید وجود جدایه‌های فیتوپیتوم مایه‌زنی شده به عنوان عامل

بیماری و اجرای اصول کخ، جداسازی مجدد بیمارگر از بافت آلوده‌ی ریشه

و طوقه‌ی گیاهان با کشت بر روی محیط‌کشت نیمه انتخابی CMA-PARP

صورت گرفت. در این آزمون برای هر تیمار سه تکرار در نظر گرفته شد و

آزمون بیماری‌زایی برای گیاهان فاقد علائم دو بار تکرار شد.

واکاوی تنوع زیستی در گونه‌های *Phytophthium*

به منظور مقایسه‌ی تنوع‌زیستی در گونه‌های مختلف *Phytophthium*.

از شاخص‌های تنوع شانون‌وینر (Shannon's Index (H))، سیمپسون

جدول ۱. فهرست جدایه‌های *Phytophthium* به‌دست آمده از فضای سبز استان فارس

Table 1. List of *Phytophthium* isolates obtained from the green spaces of Fars Province

Taxon	Isolate code	Host	Substrate	Date	Coordinates N	Coordinates E
<i>Phytophthium litorale</i>						
	ShuZe5	<i>Zinnia elegans</i>	Soil	Mar. 2021	29°38'20.61"	52°31'25.86"
	ShuZe6	<i>Zinnia elegans</i>	Soil	Mar. 2021	29°38'20.61"	52°31'25.86"
	ShuZe9	<i>Zinnia elegans</i>	Soil	Mar. 2021	29°38'19.87"	52°31'26.808"
	ShuZe10	<i>Zinnia elegans</i>	Soil	Mar. 2021	29°38'19.86"	52°31'26.826"
	ShECs16	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	Mar. 2021	29°38'19.86"	52°31'26.826"
	ShECs18	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	Mar. 2021	29°38'19.86"	52°31'26.826"
<i>Phytophthium ostryaefolium</i>						
	ShvPI01	<i>Platanus</i> sp.	Soil	Oct. 2020	52°31'39.022"	29°36'51.984"
	ShvPI02	<i>Platanus</i> sp.	Soil	Oct. 2020	52°31'39.022"	29°36'51.984"
	ShvPI02a	<i>Platanus</i> sp.	Soil	Oct. 2020	52°31'39.022"	29°36'51.984"
	ShvPI06	<i>Platanus</i> sp.	Soil	Oct. 2020	52°31'39.022"	29°36'51.984"
	ShEPr7	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.322"	29°37'.742"
	ShEPr8	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.322"	29°37'.742"
	ShEPr10	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.322"	29°37'.742"
	ShEPr11	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.322"	29°37'.742"
	ShEPr12	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.432"	29°37'.785"
	ShEPr13	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.432"	29°37'.785"
	ShEPr14	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.432"	29°37'.785"
	ShEPr15	<i>Platycladus orientalis</i>	Soil	Nov. 2020	52°32'.432"	29°37'.785"
	ShEBg5	<i>Bougainvillea glabra</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
	ShEBg4a	<i>Bougainvillea glabra</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
	ShEBg6	<i>Bougainvillea glabra</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
	ShEBg8	<i>Bougainvillea glabra</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
	ShEBg9	<i>Bougainvillea glabra</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
	ShEYf3	<i>Yucca gigantea</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
	ShEYf4	<i>Yucca gigantea</i>	Soil	Nov. 2020	-	-
<i>Phytophthium vexans</i> GI						
	RgPI09	<i>Platanus orientalis</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.781"	52°32'.240"
	MpCu04-5	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	Mar. 2018	29°37'.782"	52°32'.242"

دلشاد و همکاران: شناسایی و بیماری‌زایی گونه‌های فیتوپیتوم در گیاهان زینتی شهر...

MpCu04	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June.2019	29°37'.781"	52°32'.241"
RgCu13	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June.2017	29°37'.545"	52°33'.335"
MpCu07	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.744"	52°32'.492"
MgPl12	<i>Platanus orientalis</i>	-	-	-	-
ErLa10	<i>Lagerstroemia anisoptera</i>	-	-	-	-
MpCu15	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.743"	52°32'.491"
MGoCu5	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	Mar. 2018	29°37'.731"	52°32'.492"
MGoCu17	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June.2017	29°37'.732"	52°32'.492"
BjAc5	<i>Acer saccharinum</i>	Soil	Aug. 2017	-	-
BjCu18	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	July. 2017	-	-
RgPl08	<i>Platanus orientalis</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.781"	52°32'.241"
GbPl15	<i>Pinus elderica</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.518"	52°33'.321"
MpCu03-2	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	July. 2019	29°37'.542"	52°33'.339"
RgPl12	<i>Platanus orientalis</i>	Soil	June. 2017	29°37'.806"	52°32'.241"
RgPl10	<i>Platanus orientalis</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.780"	52°32'.242"
GuSi56	<i>Salix sp.</i>	Soil	May.2021	-	-
RgPl07	<i>Platanus orientalis</i>	Soil	June. 2017	29°37'.781"	52°32'.241"
<i>Phytophthium vexans</i> GII					
BjAc07	<i>Acer sp.</i>	Soil	June. 2017	-	-
ErCu13	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June. 2019	29°37'.742"	52°32'.480"
GbCu07	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June. 2017	30°03'.601"	52°22'.691"
GbCi12	<i>Citrus sp.</i>	Soil	June. 2017	29°37'.519"	52°33'.318"
ErCu13-3	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June. 2019	29°37'.742"	52°32'.483"
GbMe17	<i>Mespilus sp.</i>	Soil	June. 2017	30°03'.603"	52°22'.692"
ChQu05	<i>Quercus sp.</i>	Soil	June. 2019	29°38'.395"	52°30'.056"
RgCu14	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June. 2018	29°37'.731"	52°32'.333"
ChEu11	<i>Eucalyptus sp.</i>	Soil	Aug. 2017	29°36'.12.7"	52°22'.690"
RgCu10	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June. 2019	29°37'.731"	52°32'.333"
RgCu02	<i>Cupressus sempervirens</i>	Soil	June. 2019	29°37'.733"	52°32'.331"
<i>Phytophthium vexans</i> GII					
GbMo05	<i>Morus sp.</i>	Soil	Aug. 2017	30°03'.603"	52°22'.690"
RgPl06	<i>Platanus orientalis</i>	Soil	Aug. 2018	29°37'.733"	52°32'.332"
AzPa04	<i>Papulus sp.</i>	Soil	May. 2019	29°37'.519"	52°33'.318"
AzPi04	<i>Pinus elderica</i>	Soil	Mar. 2018	29°37'.764"	52°32'.402"
AzSa07	<i>Salix sp.</i>	Soil	June. 2017	29°37'.759"	52°32'.391"
ShgGb1	<i>Gerbera aurantiaca</i>	Soil	Mar. 2021	-	-
ShgGb2	<i>G. aurantiaca</i>	Soil	Mar. 2021	-	-
ShAzPl7	<i>Platanus sp.</i>	Soil	Oct. 2020	29°37'.735"	52°32'.466"
ShECu6	<i>C. semperviren</i>	Soil	Mar.2021	29°37'.742"	52°32'.480"
ShECu8	<i>C. semperviren</i>	Soil	Mar.2021	29°37'.742"	52°32'.480"
ShECu5	<i>C. semperviren</i>	Soil	Mar.2021	29°37'.742"	52°32'.480"
ShEPh1	<i>Philadelphus coronarius</i>	Soil	Nov.2020	29°37'.654"	52°32'.498"
ShECr1	<i>Catharanthus roseus</i>	Soil	Nov.2020	29°38'21.96"	52°31'27.462"
ShEKb1	<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>	Soil	Nov.2020	-	-
ShECr4	<i>C. roseus</i>	Soil	Nov.2020	29°38'21.88"	52°31'28.188"
ShECr7	<i>C. roseus</i>	Soil	Nov.2020	29°38'21.88"	52°31'28.188"
ShEYf1	<i>Yucca gigantea</i>	Soil	Nov.2020	-	-
ShEYf2	<i>Y.gigantea</i>	Soil	Nov.2020	-	-
ShEKb2	<i>K. blossfeldiana</i>	Soil	Nov.2020	-	-
ShEKb3	<i>K. blossfeldiana</i>	Soil	Nov.2020	-	-
ShEPh3	<i>P. coronarius</i>	Soil	Nov.2020	29°37'.654"	52°32'.498"
ShEYf5	<i>Y. gigantea</i>	Soil	Nov.2020	-	-

جدول ۲. مقایسه خصوصیات ریخت‌شناختی و ریخت‌سنجی گونه‌های *Phytophthium* به‌دست‌آمده در این پژوهش

Table 2. Comparison of morphological and morphometric characteristics of *Phytophythium* species in this study

Characters	Taxon			
	<i>P. litorale</i>	<i>P. ostracodes</i>	<i>P. vexans</i> GI	<i>P. vexans</i> GII
Sporangia				
Shape	globose to ovoid	globose to sub-globose	globose to sub-globose	globose to ovoid
Papillae	+	+	-	-
Average (μm)	28×30	30	18×17.7	22.8×22
Proliferation	+	+	-	-
Hyphal swellings	+	-	-	-
Oogonia				
Shape	-	globose	globose	globose
Average (μm)	-	35	22.7	17.9
Antheridia	-	10	15×5	13×4
Oospore				
Type	-	plerotic	plerotic	Plerotic to a plerotic
Average (μm)	-	32	21	14
Wall average (μm)	-	4	3	4

جدول ۳. میانگین آهنگ رشد شعاعی (میلی‌متر در روز) گونه‌های *Phytophythium* در دماهای مختلف روی محیط کشت PCA

 Table 3. Growth rate (mm/d) of *Phytophythium* species in this study at different temperatures on PCA culture medium

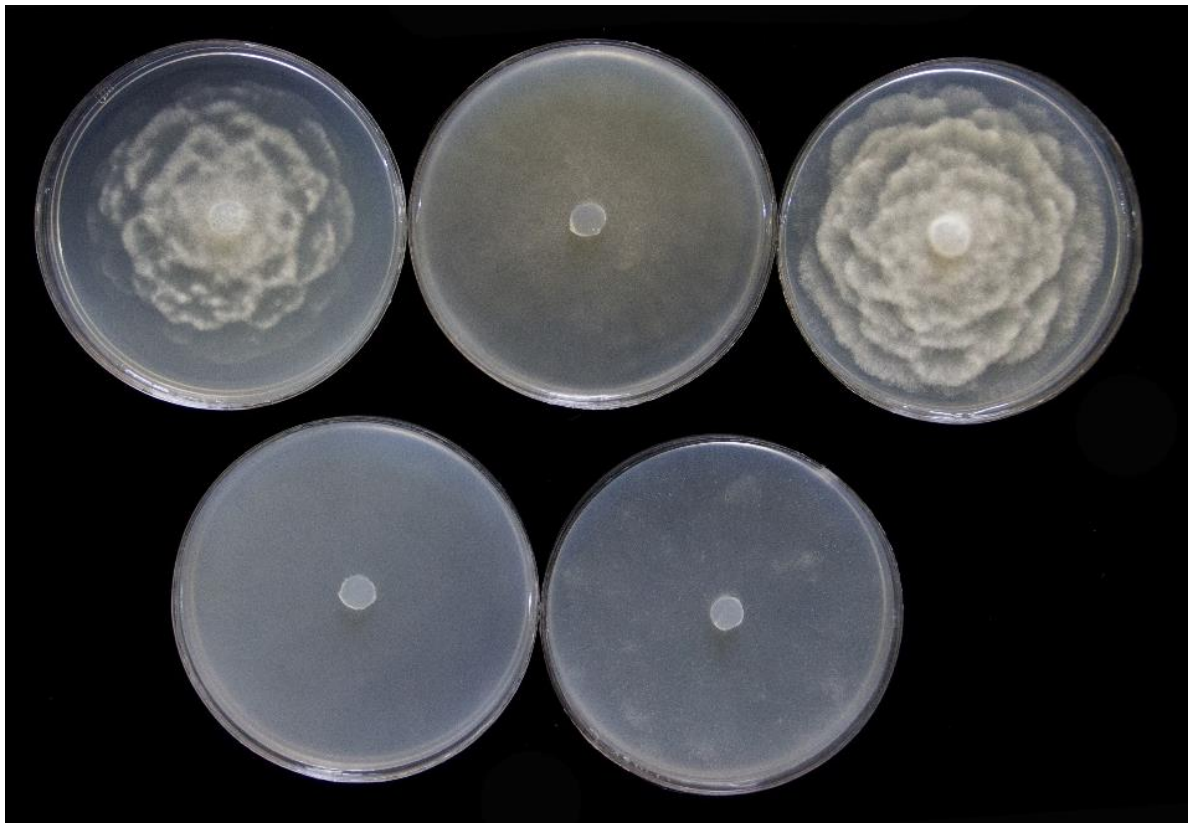
Species	Isolate	Temperature (°C).									
		5	10	15	20	25	30	32	34	36	38
<i>P. litorale</i>	ShuZe11	0	3	9	14	7	10	12	20	16	14
	ShuZe5	0	3	8	13	8	9	14	21	18	13
	ShuZe9	0	2	9	12	7	9	13	20	16	12
<i>P. ostracodes</i>	ShvPl02	0	1	4.5	6	5	7	9	11	8	6
	ShEP8	0	1	4	6.5	5	8	10	11	8	6
	ShEBg6	0	1	5	7	5	6	9	12	9	7
<i>P. vexans</i> GI	ErLa15	0	0	25.8	30	34.7	50.8	39.8	1.9	0	0
<i>P. vexans</i> GII	RgCu14	0	7.7	31.9	48.4	58.5	59.7	3.1	0	0	0

پستانک‌ها به یک لوله تخلیه بلند تبدیل می‌شوند که محتوای اسپورانژیوم شامل زئوسپورها را در خود دارد، یا منشعب شده و با جوانه‌زنی مستقیم تولید اسپورانژیوم می‌کند. تمام جدایه‌های این گونه سترون بودند و قطر ریشه‌ی اصلی به صورت میانگین ۶ میکرومتر بود (جدول ۲). دمای رشد کمینه، بهینه و بیشینه‌ی رشد برای جدایه‌های این گونه به ترتیب ۱۰، ۳۰ و ۳۵ درجه‌ی سلسیوس بود. سرعت رشد پرگنه روی محیط کشت PCA در دماهای مختلف

Phytophythium litorale Abad, de Cock, Bala, Robideau, Lodhi & Lévesque 2014

جدایه‌های این گونه از فراریشه‌ی گل آهار و سروناز جداسازی شده‌اند (جدول ۱). الگوی رشد پرگنه روی محیط کشت‌های HSA و MEA به صورت حدواسط، روی محیط کشت PDA و CA به شکل گل‌داودی و روی محیط کشت CMA فاقد الگوی رشد بود (شکل ۱). اسپورانژیوم‌ها کروی تا گلابی شکل، بین‌ریشه‌ای یا انتهایی، معمولاً دارای پستانک و افروزش داخلی بودند.

در جدول ۳ و آهنگ رشد روزانه در محیط‌کشت‌های مختلف در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس در جدول ۴ آورده شده است. آزمون بیماری‌زایی برای این گونه با استفاده از جدایه‌ی ShuZe11 روی گل آهار و جدایه‌ی ShECs16 روی سروناز انجام شد. جدایه‌ی ShuZe11 روی گل آهار غیربیماری‌زا بود و جدایه‌ی ShECs16 روی سروناز سبب خشکیدگی قسمت‌های هوایی و پوسیدگی طوقه و ریشه شد (جدول ۵، شکل ۲).



شکل ۱- ریخت‌شناسی پرگنه‌ی *Phytophthora litorale* جدایه‌ی ShuZe11 پس از ۷۲ ساعت در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب از چپ به راست و از

بالا به پایین روی محیط‌کشت‌های CA، MEA، PDA، HSA و CMA.

Fig. 1. Colony morphology of *Phytophthora litorale*, isolate ShuZe11, after 72 hours at 25 °C on various media. Top (from left to right): CA, MEA and PDA. Bottom (from left to right): HSA, and CMA.

جست‌وجوی توالی زیر واحد یک سیتوکروم اکسیداز سی جدایه‌های ShuZe5 و ShuZe11 در پایگاه اطلاعاتی بانک ژن مشخص کرد که این توالی‌ها به میزان ۹۹ درصد به گونه‌ی *P. litorale* (AB690634) (Robideau et al., 2011) شباهت دارند. واکاوی فیلوژنتیکی نشان داد که جدایه‌های این گونه در تبار یک درخت فیلوژنتیکی از *Phytophthora* قرار می‌گیرد. احتمال پسینی بیزی برای این تبار ۹۹٪ بود (شکل ۹).

جدول ۴. الگوی رشد و میانگین رشد شعاعی (میلی‌متر در روز) گونه‌های *Phytophthium* در این پژوهش در محیط‌کشت‌های مختلف در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس

Table 4. Colony morphology and growth rate (mm/d) of *Phytophthium* species in this study at 25 °C on various media

Species	Isolate	HSA		MEA		CA		PDA		CMA	
		Growth	Colony	Growth	Colony	Growth	Colony	Growth	Colony	Growth	Colony
<i>P. litorale</i>	ShuZe5	22	intermediate	20	intermediate	20	rosette	23	rosette	23	no pattern
	ShuZe11	23	intermediate	20	intermediate	19	rosette	21	rosette	3	no pattern
<i>P. ostracodes</i>	ShEPr8	20	intermediate	12	no pattern	8	rosette	13	rosette	13	radiate
	ShvPl02	20	intermediate	11	no pattern	10	rosette	11	rosette	12	radiate
<i>P. vexans</i> GI	ErLa15	30.1	uniform	38.7	chrysanthemum	27.7	intermediate	25.3	intermediate	30.5	uniform
<i>P. vexans</i> GII	RgCu14	42	radiate	42	uniform	34.6	chrysanthemum	34.5	rosette	50	uniform

جدول ۵. آزمون بیماری‌زایی گونه‌های مختلف فیتوپیتوم به دست آمده از گیاهان زینتی روی گونه‌های گیاهی همراه.

Table 5. Pathogenicity test of different *Phytophthium* species from ornamental plants on the accompanying plant species

Host	Species			
	<i>P. litorale</i>	<i>P. ostracodes</i>	<i>P. vexans</i> GI	<i>P. vexans</i> GII
<i>Zinnia elegans</i>	-	*	*	*
<i>Platanus orientalis</i>	*	+	+	*
<i>Cupressus sempervirens</i>	+	*	*	-

+ = positive pathogenicity test, - = negative pathogenicity test, * = test not performed.



شکل ۲- علائم سبزخشکی در قسمت‌های هوایی نهال‌های سروناز مایه‌زنی شده با جدایه‌ی ShECs16 از *Phytophthium litorale* (B, C و D) در مقایسه با شاهد (A)، ۱۶۰ روز پس از مایه‌زنی.

Fig. 2. Wilting symptoms in aerial parts of Persian cypress (*Cupressus sempervirens*) seedlings inoculated with *Phytophthium litorale* isolate ShECs16 (B, C, and D) compared to the control (A), 160 days after inoculation

***Phytophythium vexans* Complex (de Barry) Abad, de Cock, Bala, Robideau, Lodhi & Lévesque**

بر اساس درخت فیلوژنتیکی زیر واحد یک سیتوکروم اکسیداز سی جدایه‌های *P. vexans* در دو گروه مجزا قرار گرفتند (شکل ۶). مشخصات هریک از این گروه‌ها در ادامه آمده است.

***Phytophythium vexans* GI**

جدایه‌های این گروه از گیاهان زینتی افرای شبه‌چناری، بید، چنار، سروناز و کاج جداسازی شده است. الگوی رشد پرگنه‌ها روی محیط‌کشت‌های PDA و CA به صورت حدواسط بین گل‌سرخی و گل داوودی و روی محیط‌کشت‌های HSA و CMA به صورت یکنواخت مشاهده شد (شکل ۷). اسپورانژیوم‌ها کروی، نیمه‌کروی غالباً انتهایی، ندرتاً بین‌ریسه‌ای، فاقد افزولش و پستانک بودند... قطر ریشه‌ی اصلی ۶ میکرومتر برآورد شد. آگونیوم کروی شکل، غالباً انتهایی، گاهی بین‌ریسه‌ای بودند. به ازای هر آگونیوم یک یا دو آنتریدیوم تک‌بن یا دوین و اتصال آگونیوم به آنتریدیوم از نوع پهن وجود داشت (جدول ۲). آسپوره‌های این گونه اکثراً پرساز گاهی ناپرساز با دیواره‌ی ضخیم بودند. دمای کمینه، بهینه و بیشینه‌ی رشد برای جدایه‌های این گونه به ترتیب ۱۵، ۳۰ و ۳۶ درجه‌ی سلسیوس بود. سرعت رشد پرگنه روی محیط‌کشت PCA در دماهای مختلف در جدول ۳ و آهنگ رشد روزانه در محیط‌کشت‌های مختلف در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس در جدول ۴ آورده شده است. آزمون بیماری‌زایی برای این گروه در نهال چندساله چنار انجام شد (جدول ۵). این جدایه قادر به ایجاد پوسیدگی و قهوه‌ای شدن طوقه و ریشه، کاهش حجم ریشه به همراه سبز خشکی در قسمت‌های هوایی چنار بود (شکل ۸ و ۹).

***Phytophythium ostracodes* Abad, de Cock, Bala, Robideau, Lodhi & Lévesque 2014**

جدایه‌های این گونه از فراریشه‌ی سرو خمره‌ای، چنار، گل کاغذی قرمز و یوکا جداسازی شدند (جدول ۱). الگوی رشد پرگنه روی محیط‌کشت CMA به صورت شعاعی، روی محیط‌کشت‌های PDA و CA به شکل گل‌سرخی، روی محیط HSA به صورت حدواسط و روی محیط‌کشت MEA بدون الگوی رشد بود (شکل ۳). اسپورانژیوم‌ها کروی تا نیمه‌کروی، انتهایی و دارای افزولش بودند (جدول ۲). میانگین قطر ریشه‌ی اصلی ۶ میکرومتر بود. آگونیوم کروی شکل، بین‌ریسه‌ای یا انتهایی با دیواره‌ی صاف مشاهده شد. به ازای هر آگونیوم یک یا دو آنتریدیوم تک‌بن یا دوین پرآماده و پهن وجود داشت (جدول ۲). آسپوره‌های این گونه پرساز تا تقریباً پرساز با دیواره‌ی ضخیم بودند. دمای کمینه، بهینه و بیشینه‌ی رشد برای جدایه‌های این گونه به ترتیب ۱۰، ۳۰ و ۳۵ درجه‌ی سلسیوس بود. سرعت رشد پرگنه روی محیط‌کشت PCA در دماهای مختلف در جدول ۳ و آهنگ رشد روزانه در محیط‌کشت‌های مختلف در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس در جدول ۴ آورده شده است. آزمون بیماری‌زایی برای این گونه با استفاده از جدایه‌ی ShvPI02 روی چنار انجام شد. این جدایه قادر به ایجاد پوسیدگی طوقه و ریشه، کاهش حجم ریشه به همراه سبز خشکی در قسمت‌های هوایی نهال چنار بود (جدول ۵، شکل ۳ و ۴).

جست‌وجوی توالی زیر واحد یک سیتوکروم اکسیداز سی جدایه‌های ShvPI02 و ShvPI08 در پایگاه اطلاعاتی بانک ژن مشخص کرد که این توالی‌ها با ۱۰۰ درصد شباهت و ۱۰۰ درصد هم‌پوشانی به گونه‌ی (EF408874) *P. ostracodes* (Baten et al., 2014) شباهت دارند. واکاوی فیلوژنتیکی نشان داد که جدایه‌های این گونه در تبار یک درخت فیلوژنتیکی از *Phytophythium* با احتمال پس‌آیند بیزی ۱ قرار می‌گیرند (شکل ۵).



شکل ۳- علائم سبزشکمی در قسمت‌های هوایی نهال‌های چنار مایه‌زنی شده با جدایه‌ی *Phytophthora ostracodes* از ShvPI02 (B, C و D) در مقایسه با شاهد (A)، ۹۰ روز پس از مایه‌زنی.

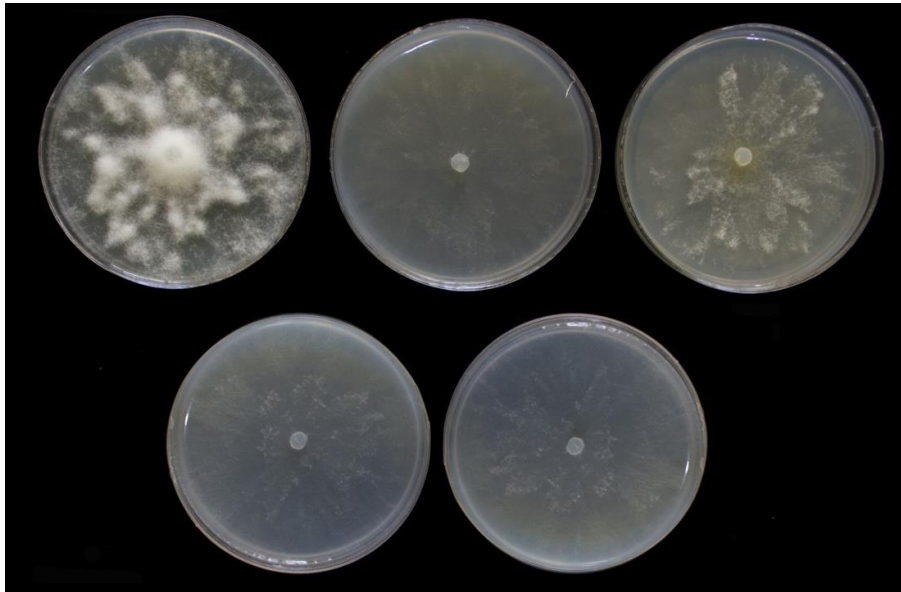
Fig. 3. Wilting symptoms in aerial parts of plane tree (*Platanus orientalis*) seedlings inoculated with *Phytophthora ostracodes* isolate ShvPI02 (B, C, and D) compared to the control (A), 90 days after inoculation.



شکل ۴- علائم پوسیدگی طوقه و ریشه و کاهش حجم ریشه در نهال‌های چنار مایه‌زنی شده با جدایه‌ی *Phytophthora ostracodes* از ShvPI02 (B و C، در مقایسه با شاهد (A)، ۹۰ روز پس از مایه‌زنی.

Fig.4.- Symptoms of crown and root rot, along with reduction of root volume, in plane tree seedlings inoculated with *Phytophthora ostracodes* isolate ShvPI02 (B, C, and D), compared to the control (A), 90 days after inoculation.

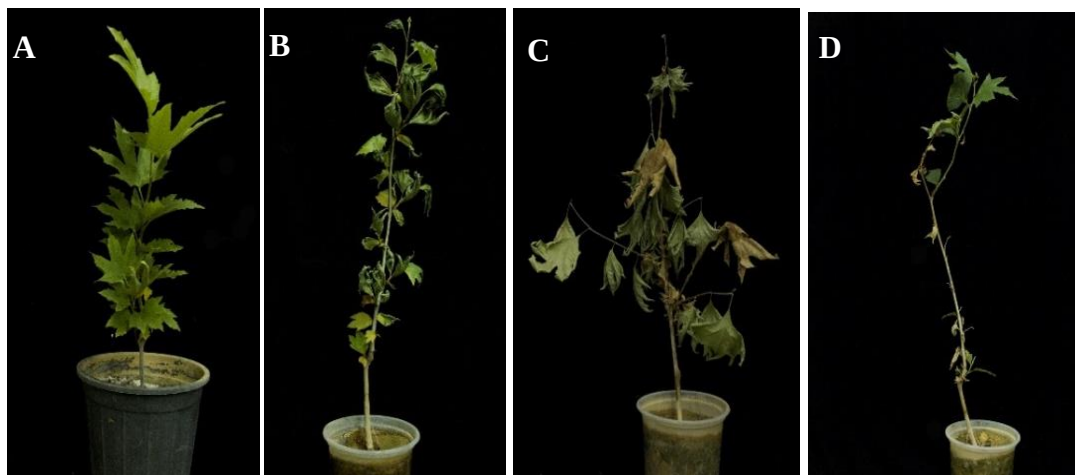
other *Phytophthium* species, based on a comparison of cytochrome c oxidase subunit I gene sequences using the Bayesian inference method. Bayesian probabilities and Maximum Likelihood bootstrap values are shown near the branches (from left to right, respectively).



شکل ۶- ریخت‌شناسی پرگنه‌ی *Phytophthora vexans* GI جدایه‌ی RgPI03 پس از ۷۲ ساعت در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب از چپ به راست و از

بالا به پایین روی محیط‌کشت‌های CA، MEA، PDA، CMA و HAS

Fig. 6. Colony morphology of *Phytophthora vexans* GI, isolate RgPI03, after 72 hours at 25 °C on various media. Top (from left to right): CA, MEA and PDA. Bottom (from left to right): HSA, and CMA



شکل ۷- علائم خشکیدگی در قسمت‌های هوایی نهال‌های چنار مایه‌زنی شده با جدایه‌ی از *Phytophthora vexans* GI (B، C و D) در مقایسه با شاهد

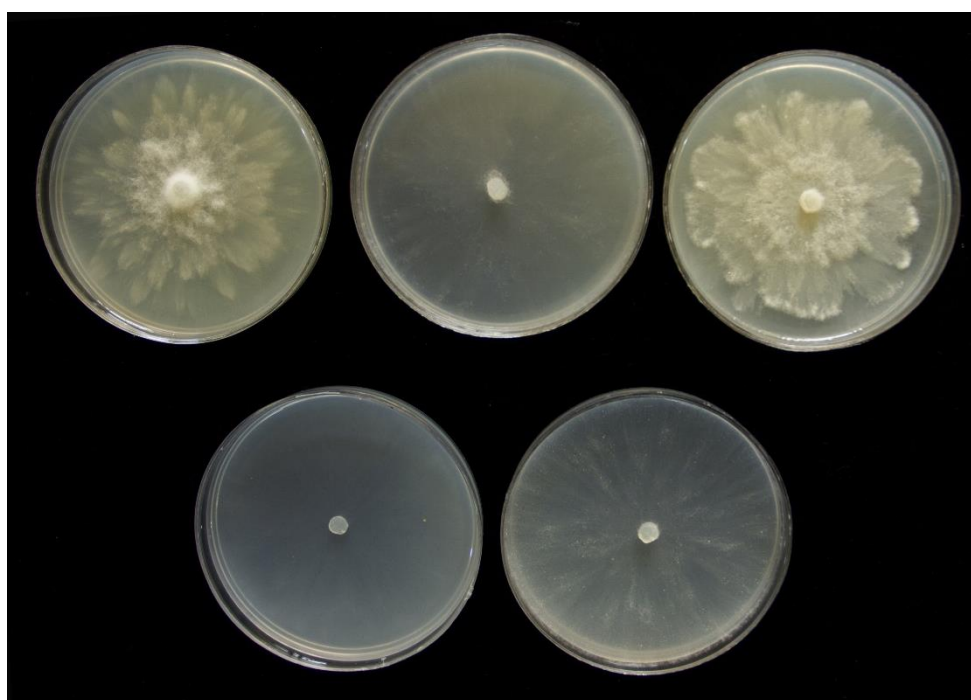
(A)، ۱۵۳ روز پس از مایه‌زنی

Fig. 7. Drying symptoms in the aerial parts of plane tree seedlings inoculated with *Phytophthora vexans* GI isolate RgPI03 (B, C, and D) compared to the control (A), 153 days after inoculation.



شکل ۸- علائم پوسیدگی و سیاه شدن طوقه و ریشه در نهال‌های چنار مایه‌زنی شده با جدایه‌ی RgPI03 از *Phytophthora vexans* G1 (B، C و D) در مقایسه با شاهد (A)، ۱۵۳ روز پس از مایه‌زنی

Fig.8. Symptoms of crown and root rot, along with reduction of root volume, in plane tree seedlings inoculated with *Phytophthora* (B, C, and D), compared to the control (A), 153 days after inoculation. isolate RgPI03 *vexans* G1



شکل ۹- ریخت‌شناسی پرگنه‌ی *Phytophthora vexans* GII جدایه‌ی RgCu13 پس از ۷۲ ساعت در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس به ترتیب از چپ به راست و از بالا به پایین روی محیط‌کشت‌های CA، MEA، PDA، CMA و HSA

Fig. 9. Colony morphology of *Phytophthora vexans* GII, isolate RgCu13, after 72 hours at 25 °C on various media. Top (from left to right): CA, MEA and PDA. Bottom (from left to right): HSA, and CMA

پرگنه‌ها روی محیط‌کشت PDA به شکل گل سرخی، روی محیط CA به

P. vexans GII

صورت گل‌داوودی و در HSA به صورت شعاعی و در محیط‌کشت‌های

جدایه‌های این گروه از گیاهان زیتنی افرای معمولی، ازگیل، اکالیپتوس،

بلوط، بید، توت، چنار، سروناز و کاج جداسازی شده است. الگوی رشد

اساس واکاوی‌های فیلوژنتیکی ژن زیرواحد یک سیتوکروم اکسیداز سی این جدایه‌ها در یک شاخه‌ی مجزا از سایر گونه‌های تبار یک فیتوپیتوم قرار گرفتند (شکل ۶). نتایج نشان داد این جدایه‌ها احتمالا نماینده یک گونه‌ی جدید برای جنس فیتوپیتوم هستند که به صورت موقت نام *Phytophythium* sp. 1 به آن داده شد.

مطالعات فیلوژنتیکی گونه‌های *Phytophythium*

فزون‌سازی دی‌ان‌ای نواحی میتوکندریایی زیرواحد یک سیتوکروم سی اکسیداز صورت گرفت و قطعاتی با اندازه تقریبی ۶۰۰ جفت باز تکثیر شد. درخت فیلوژنتیکی زیرواحد یک سیتوکروم سی اکسیداز در شکل ۶ آمده است.

واکاوی تنوع زیستی در گونه‌های *Phytophythium*

نتایج واکاوی آماری برای تنوع زیستی در جدول ۶ آمده است. نتایج نشان داد از پنج گونه‌ی مورد بررسی، بیشترین فراوانی به گونه‌ی *P. vexans* Gl و کم‌ترین فراوانی به گونه‌ی *P. litorale* تعلق داشت. غنای گونه‌ای پنج و شاخص شانون که نشان دهنده‌ی وجود تنوع نسبی در جامعه است برابر با ۱/۶ برآورد شد.

جدول ۶. واکاوی شاخص‌های تنوع زیستی در گونه‌های *Phytophythium* جداسازی شده از گیاهان زینتی

Table 6. Analysis of biodiversity indices in *Phytophythium* species isolated from ornamental plants.

Species	N	iP	H	D	1-D	E	S	J
<i>P. litorale</i>	6	0.062	-	-	-	-	-	-
<i>P. ostracodes</i>	19	0.197	-	-	-	-	-	-
<i>Phytophythium</i> . sp.1	16	0.166	-	-	-	-	-	-
<i>P. vexans</i> Gl	39	0.406	-	-	-	-	-	-
<i>P. vexans</i> GII	16	0.166	-	-	-	-	-	-
Total	96	1	1.48	0.29	0.71	0.80	5	0.92

iP: محاسبه سهم نسبی گونه‌ها، H: شاخص شانون-وینر، D: شاخص سیمپسون، 1-D: شاخص سیمپسون-جینی، E: یکنواختی، S: غنای گونه‌ای، J: شاخص یکنواختی پیلنو، N: فراوانی

P. vexans GII و *Phytophythium* sp.1 به دست آمد. گونه‌های نام برده

شده از نظر خصوصیات ریخت‌شناختی و ریخت‌سنجی در این پژوهش با توصیفات اولیه گونه‌ها مطابقت داشتند (Baten et al., 2014; Baten et

MEA و CMA الگوی رشد یکنواخت دیده شد (شکل ۱۰). اسپورانژیوم‌های این گروه کروی، نیمه‌کروی، گاهی اوقات تخم‌مرغی تا گلابی شکل و انتهایی گاهی بین‌ریسه‌ای، فاقد افزولش و پستانک بودند. قطر ریشه‌ی اصلی ۶/۴ میکرومتر برآورد شد. آگونیوم‌ها کروی شکل، انتهایی، گاهی اوقات بین‌ریسه‌ای مشاهده شدند. به ازای هر آگونیوم یک یا دو آنتریدیوم تک‌بن یا دوبن و اتصال آگونیوم به آنتریدیوم از نوع پهن دیده شد (جدول ۲). آسپورها این گروه کروی، پرساز ندرتاً ناپرساز با دیواره‌ی ضخیم بودند. دمای کمینه، بهینه و بیشینه‌ی رشد برای جدایه‌های این گروه به ترتیب ۱۰، ۳۰ و ۳۲ درجه‌ی سلسیوس بود. سرعت رشد پرگنه روی محیط‌کشت PCA در دماهای مختلف در جدول ۳ و آهنگ رشد روزانه در محیط‌کشت‌های مختلف در ۲۵ درجه‌ی سلسیوس در جدول ۴ آورده شده است. آزمون بیماری‌زایی برای این گروه روی گیاه چندساله سروناز به عنوان میزبان نیز انجام شد (جدول ۵). نتایج نشان داد این گروه در سروناز غیر بیماری‌زا هستند.

همچنین در پژوهش حاضر جدایه‌هایی از یک گونه‌ی توصیف‌نشده از جنس *Phytophythium* از چندین گیاه زینتی شامل چنار، ژربرا، سروناز، گل پرپوش، کالانکوه، نرگس درختی و یوکای بزرگ جداسازی شدند. بر

بحث

در طی نمونه‌برداری از طوقه و ریشه‌ی گیاهان زینتی در شیراز پنج گونه‌ی فیتوپیتوم شامل گونه‌های *P. litorale*، *P. ostracodes*، *P. vexans* Gl

شریف‌نابی و همکاران (Sharifnabi et al., 2019) انجام شد و مشخص گردید می‌تواند سبب ایجاد پوسیدگی طوقه و ریشه در بادام شود (Sharifnabi et al., 2019). با وجود این، تا پیش از مطالعه‌ی حاضر، گزارشی از جداسازی این گونه از سروناز و اثبات بیماری‌زایی آن وجود نداشته است. نتایج این پژوهش برای نخستین‌بار در دنیا نشان می‌دهد که *P. litorale* روی درخت سروناز بیماری‌زاست و سبب ایجاد پوسیدگی طوقه و ریشه می‌شود.

گونه‌ی *P. ostracodes* از سراسر جهان و از زیست بوم‌های متنوع گزارش شده است (Lodhi et al., 2020). این گونه اولین‌بار از گندم (*Triticum aestivum* L.) در ایالت تگزاس ایالات متحد آمریکا جداسازی شد (Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2016). پس از آن به ندرت گزارشی از بیماری‌زایی آن در دسترس است (Lodhi et al., 2020). با این حال گزارش‌هایی از جداسازی این گونه از پنبه (*Gossypium hirsutum* L.)، ترتیزک زرد (*Rorippa amphibian* (L.) Besser)، سازوی افشان (*Juncus effuses* L.)، سویا (*Glycine max* (L.) Merr.)، خردل (*Rhamphospermum arvense* (L.) Andr. ex Besser)، ذرت (*Zea mays* L.)، رزماری (*Rosmarinus officinalis* L.)، فلفل (*Capsicum* sp.)، نیلوفرآبی (*Nymphaea alba* L.)، نارنگی (*Citrus nobilis*) از انگلستان، اسپانیا، پاکستان، تایلند، تایوان، سوئیس، چین، ژاپن، کنیا و مصر وجود دارد (Lodhi et al., 2020; Van der Plaats-Niterink, 1981). گونه‌ی *P. ostracodes* در ایران با فراوانی کم، از گیاهان آفتابگردان، بگونیا، برنج، چغندرقد، چنار، سروناز، کاج، گوجه‌فرنگی، خاک و آب آبیاری تاکنون از دو استان فارس و آذربایجان غربی جداسازی شده است (Babai-Ahary et al., 2004; Mostowfizadeh-Ghalamfarsa & Banihashemi, 2005; Rezaei et al., 2021; Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2019, 2023). اثبات بیماری‌زایی این گونه در آفتابگردان،

al., 2015; de Cock et al., 2015; Jesus et al., 2016; Nechwatal & Mendgen, 2006; Parkunan & Ji, 2013; Van der Plaats-Niterink, 1981). به جز *P. vexans* Gl و *P. vexans* Gll سایر گونه‌ها بر اساس واکاوی‌های فیلوژنتیک در تبار یک جنس *Phytophythium* قرار گرفتند (Baten et al., 2014; Jesus et al., 2016).

گونه‌ی *P. litorale* بر خلاف سایر اعضای تبار یک جنس *Phytophythium* مانند گونه‌های *P. carbonicum* (B. Paul) Abad, (R.L. de Cock, K. Bala, Robideau, A.M. Lodhi & Lévesque Duan) Abad, de Cock, K. Bala, Robideau, A.M. Lodhi & Lévesque *P. boreale* و *P. ostracodes* که تولید تورم ریشه‌ای نمی‌کنند، گونه‌ی *P. litorale* قادر به تولید تورم‌های ریشه‌ای فراوان در محیط‌کشت مایع است (Derviş et al., 2020). در این مطالعه نیز تمام جدایه‌های مورد مطالعه تولید تورم ریشه‌ای کردند. این گونه اولین بار از خاک ساحلی و نیزارهای اطراف دریاچه‌ی کنستانس آلمان جداسازی شد، با این حال در گیاه غالب این منطقه یعنی نی غیربیماری‌زا بود (Nechwatal & Mendgen, 2006). با وجود این در گزارش‌های بعدی به عنوان یکی از بیمارگرهای بسیار مخرب برای گیاهان زیتنی (Tkaczyk, 2020) با توان بیماری‌زایی متوسط تا بالا در گیاهان چوبی و چندساله گزارش شده است (Mizeriene et al., 2025). این گونه تاکنون از چندین کشور مختلف شامل استرالیا، ایالات متحد آمریکا، انگلستان، ترکیه، چین، سوئیس، ویتنام و میزبان‌های متفاوت مانند توسکا، چنار، زبان‌گنجشک، سویا، کیوی، کدو، گردو، نخودفرنگی و برخی دیگر از گیاهان زیتنی گزارش شده است (Alcala et al., 2016; Choudhary et al., 2016; Coffua et al., 2016; Corcobado et al., 2023; Derviş et al., 2020; Guajardo et al., 2019; Jung et al., 2020; Mizeriene et al., 2025; Radmer et al., 2017). پیش از این گونه‌ی *P. litorale* از ایران و گیاهان بادام، چنار و هندوانه گزارش شده بود (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2023). اثبات بیماری‌زایی این گونه در درخت بادام توسط

مالزی، هلند و هندوستان گزارش شده است (Feng et al., 2020; Polat et al., 2017; Prencipe et al., 2020; Van der Plaats-Niterink, 1981; Vawdrey et al., 2005; Wager, 1942; Zeng et al., 2005). در ایران اولین گزارش از گونه‌ی *P. vexans* توسط ارشاد (Ershad, 1977) در مازندران از کاج سیاه (*Pinus nigra* J.F. Arnold.) است. سپس در فارس از خاک، چمن (*Lolium perenne* L.)، کاج سیاه، گردو (*Juglans regia* L.) و ماش جداسازی و گزارش شده است (Barzegar & Banihashemi, 2011; Ghaderi & Banihashemi, 2011; Mostowfizadeh-Ghalamfarsa & Banihashemi, 2005). همچنین در شیراز از ریشه‌ی عشقه (*Hedera helix* L.) به عنوان عامل پوسیدگی ریشه و از ریشه‌ی درختان زیتنی سرو نقره‌ای (*Cupressus sempervirens* L.) با علائم پوسیدگی طوقه‌ی شدید (Bolboli & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2014; Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2019) و در آذربایجان غربی نیز از خاک (Rezaei et al., 2021) جداسازی و گزارش شده است. این پژوهش نخستین گزارش از جداسازی و اثبات بیماری‌زایی گونه‌ی مرکب *P. vexans* در چنار است.

در پژوهش حال حاضر اکثر گونه‌های جداسازی شده از گیاهان زیتنی متعلق به تبار یک جنس فیتوپیتوم بودند (Baten et al., 2015). تبار یک بزرگ‌ترین تبار در جنس فیتوپیتوم را تشکیل می‌دهد و بیشترین گونه‌های فیتوپیتوم جداسازی شده در سال‌های اخیر از ایران در تبار یک قرار می‌گیرند (Salmaninezhad & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2023). گزارش‌های متعددی از اثرات زیان‌آور اعضای تبار یک جنس فیتوپیتوم علاوه بر گیاهان زراعی، در درختان و درختچه‌های زیتنی وجود دارد. پیش از این، برخی گونه‌های تبار یک از جمله گونه‌های *P. P. babaiaharii*، *P. palingen* (Drechsler) Abad, de و *P. litorale*، *ostracodes* Cock, K. Bala Robideau, Lohdi & Lévesque از درختان زیتنی، به‌ویژه مخروطیان، در ایران جداسازی شده‌اند (Salmaninezhad &

چغندرقد و گوجه‌فرنگی نشان داد در این گیاهان بیماری‌زا است (Rezaei et al., 2021). مطالعه‌ی حال حاضر نخستین گزارش از اثبات بیماری‌زایی گونه‌ی *P. ostracodes* در چنار است. در سال‌های اخیر با استفاده از مطالعات فیلوژنتیکی نشان داده شد که گونه‌ی *P. vexans* یک گونه‌ی مرکب به نظر می‌رسد (de Cock et al., 2015; Delshad et al., 2025; Nguyen et al., 2022; Robideau et al., 2011; Spies et al., 2011). در پژوهش حاضر نیز با استفاده از واکاوی ژن زیرواحد یک سیتوکروم اکسیداز سی جدایه‌های متعلق به این گونه در دو گروه مجزا قرار گرفتند. گونه‌ی مرکب *P. vexans* تاکنون از چندین کشور و میزبان‌های متفاوت به عنوان بیمارگر گیاهان گزارش شده است (Chenari Bouket et al., 2016). این گونه از ترمس (*Lupinus* sp.)، سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.)، خاک، یونجه (*Medicago sativa* L.)، چمن (*Poa trivialis* L.)، درخت کائوچو (*Hevea* sp.)، درختان گلابی (*Pyrus communis* L.)، هلو (*Prunus persica* L.)، گیاهان زیتنی، گونه‌های مرکبات (*Citrus* sp.)، گردوی آمریکایی (*Batsch* (*Carya illinoensis* (Wangenh.) K.Koch.)، مخروطیان، درخت سیب زنجبیل (*Zingiber officinale* Roscoe.)، هل (*Malus pumila* Mill.)، گل شمع‌دانی (*Pelargonium* Sp.)، گیاه گنه‌گنه (*Cinchona* sp.)، پاپایا (*Carica papaya* L.)، تاک (*Vitis vinifera* L.)، گل کاملیا (*Camellia* Sp.)، گل میخک (*Dianthus* Sp.)، لوبیای چشم‌بلی (*Phaseolus cylindricus* L.)، ماش (R.Wilczek (*Vigna radiata* L.)، آوآکادو از غلات، گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* L.)، آوآکادو (*Persea Americana* Mill.) درخت آنونا (*Annona* sp.)، کلزا (*Brassica napus* L.)، و هندوانه (*Citrullus vulgaris* Schrad.)، کتان (*Linum usitatissimum* L.) از آلمان، آمریکا، ایرلند، انگلستان، استرالیا، تایوان، ترکیه، جنوب آفریقا، چین رومانی، ژاپن، عراق، فرانسه، کانادا، لبنان،

زمین و تغییرات اقلیم جهانی، اهمیت زیادی دارد و در نهایت احتمالاً منجر به گسترش جغرافیایی گونه‌های *Phytophthium* و یافتن میزبان‌های جدید می‌شود (Tkaczyk, 2020).

در طی نمونه‌برداری از گیاهان زیتنی تعداد ۹۶ جدایه از جنس فیتوپیتوم متعلق به پنج گونه‌ی *P. vexans* GI، *P. vexans* GII، *P. litorale*، *P. oestracodes* و *Phytophthium. sp.1* به دست آمد. بیشترین فراوانی نسبی مربوط به گونه‌ی *P. vexans* GI با ۳۹ جدایه و کمترین فراوانی نسبی مربوط به گونه‌ی *P. litorale* با ۶ جدایه بود. تنوع زیستی نمایان‌گر گوناگونی و ناهمگونی موجودات در تمام سطوح سلسله‌مراتبی حیات از مولکول‌ها تا بوم‌سازگان است و اطلاعات ارزشمندی ارائه می‌کند (Morris et al., 2014). غنای گونه‌ای ساده‌ترین و رایج‌ترین سنج‌های است که برای نمایش تنوع زیستی به کار می‌رود (Kunakh et al., 2023; Whittaker, 1972). در این پژوهش شاخص غنای گونه‌ای گونه‌های *Phytophthium* پنج برآورد شد. غنای گونه‌ای به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی و شرایط محیطی مانند دمای میانگین، نوسانات دمای فصلی، رطوبت، بافت خاک، مکان و روش نمونه‌برداری و عوامل ژنتیکی میزبان است (Broders et al., 2009; Dorrance et al., 2004; Matthiesen et al., 2016; Radmer et al., 2017; Serrano & Robertson, 2018). که همین عوامل سبب ایجاد تفاوت در مقدار این شاخص در مطالعات مختلف با شرایط محیطی کاملاً متفاوت می‌شود (Navarro et al., 2021). این شاخص به تنهایی برای بررسی تنوع زیستی کافی نیست و باید سایر شاخص‌ها نیز برای درک بهتر تنوع زیستی بررسی شود (Roy & Bhattacharya, 2023).

شاخص سیمپسون یکی از شاخص‌های تنوع زیستی است که بیشتر بر تسلط گونه‌های غالب تأکید دارد (Kitikidou et al., 2024). این شاخص میزان احتمال انتخاب تصادفی دو فرد از یک گونه یکسان را نشان می‌دهد

(Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, 2023). در پژوهش حاضر نیز گونه‌ی *P. litorale* و *P. oestracodes* از گیاهان زیتنی مختلف در شیراز جداسازی شدند.

علاوه بر ایران گزارش‌های متعددی از جداسازی گونه‌های متعلق به تبار یک فیتوپیتوم از گیاهان زیتنی و جنگلی در سراسر جهان نیز وجود دارد. دو گونه‌ی جدید *P. leanoi* R.M Benn. & Thines و *P. dogmae* R M. Benn. از جنگل‌های حرا در فیلیپین با علائم پوسیدگی طوقه و ریشه گزارش شده‌اند (Bennett et al., 2017). سایر پژوهشگران نیز گزارش‌های از وجود گونه‌های متعلق به تبار یک فیتوپیتوم در زیستگاه‌های جنگلی داشته‌اند (Bennett et al., 2017; Leanio, 2001; Thines, 2014). در مثالی دیگر، گزارش‌هایی از حضور دو گونه‌ی *P. citrinum* و (B. Paul) Abad, de Cock, Bala, Robideau, Lodhi & Lévesque از *P. mercuriale* (Belbahri, B. Paul & Lefort) از تبار یک در جنگل‌های بلوط در لهستان وجود دارد (Jankowiak et al., 2015). نقش دقیق این گونه‌ها در روند خشکیدگی درختان بلوط هنوز مشخص نیست، اما در سایر مناطق لهستان، این دو گونه از خاک فراریشه‌ی درختان بلوط و توسکای در حال خشکیدگی جداسازی شده است (Tkaczyk, 2020). علاوه بر این، گونه‌ی *P. citrinum* از گیاهان زیتنی در سودان جداسازی شده است (Derviş et al., 2020). گونه‌ی *P. litorale* نیز یکی دیگر از اعضای تبار یک فیتوپیتوم است که به عنوان عامل ایجاد شانکر و پوسیدگی طوقه و ریشه در درخت زیتنی چنار معرفی شده است (Derviş et al., 2020).

با توجه به این شواهد، به نظر می‌رسد گونه‌های تبار یک جنس *Phytophthium*، قابلیت چشم‌گیری در ایجاد بیماری در گیاهان زیتنی دارند. نکته‌ی قابل توجه این‌که، گونه‌های جنس *Phytophthium* در دماهای نسبتاً بالا (بین ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس) بهتر رشد کرده، توان بیماری‌زایی بیشتری از خود نشان می‌دهند. این ویژگی با توجه به افزایش دمای کره‌ی

دارد. نتایج این پژوهش با یافته‌های اخیر در جامعه‌های آمیستی همخوانی دارد. به عنوان مثال، در مطالعه‌ای روی فراریشه و خاک مراتع در اسپانیا، گزارش شده است که در خاک‌های با بافت رُسی شاخص یکنواختی برای آمیست‌ها به طور معنی‌داری بالا بوده است (Riit et al., 2023). در مطالعات مشابه، در جوامع آمیستی یکنواختی بالایی در علفزار و جنگل نیز گزارش شده است (Fiore-Donno & Bonkowski, 2021).

شاخص شانون-وینر یکی از پرکاربردترین شاخص‌های تنوع است که هم‌زمان غنا و یکنواختی گونه‌ها را در نظر می‌گیرد (Roy & Bhattacharya, 2023). این شاخص نسبت به گونه‌های نادر و فراوان حساسیت دارد و می‌تواند تغییرات کوچک در ترکیب گونه‌ها را آشکار سازد (Magurran, 2021). در این پژوهش شاخص شانون-وینر سطح متوسطی را نشان داد، که بیانگر وجود گونه‌های با توزیع نسبی متعادل است. این مقدار بیانگر آن است که جمعیت علاوه بر غنای گونه‌ای، از یکنواختی مناسبی نیز برخوردار بودند، یعنی تعداد افراد به طور نسبی در میان گونه‌ها تقسیم شده بود. مقدار شاخص شانون-وینر در مطالعه‌ی حال حاضر با سایر پژوهش‌ها در جوامع آمیستی مطابقت دارد. به عنوان مثال مقدار شاخص شانون-وینر در جامعه فیتوتورا بررسی شده در نهالستان‌های گیاهان زیتنی در ایالت اورگان بین ۰/۶۴ تا ۲/۵۵ برآورد شده است (Parke et al., 2014).

از دیگر شاخص‌های تنوع زیستی می‌توان به شاخص یکنواختی پیلو اشاره کرد (Magurran, 2021; McCarthy, 2004). این شاخص میزان یکنواختی توزیع انواع مختلف در یک جامعه را اندازه‌گیری می‌کند و نشان می‌دهد میزان توزیع گونه‌ها در یک جامعه یکنواخت یا نابرابر است (Magurran, 2021; McCarthy, 2004). مقدار شاخص پیلو همیشه بین صفر تا یک است. هر چه مقدار این شاخص به یک نزدیک‌تر شود نشان دهنده توزیع یکنواخت‌تر گونه‌ها است (McCarthy, 2004). در این پژوهش میزان

(Simpson, 1949). مقدار شاخص سیمپسون بین صفر تا یک تغییر می‌کند (Jost, 2006; Kitikidou et al., 2024). هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد احتمال تعلق دو جدایه‌ی تصادفی به یک گونه کمتر است، بنابراین میزان تنوع زیستی بیشتر خواهد بود (Jost, 2006). معمولاً به جای شاخص تنوع سیمپسون از مکمل این شاخص، یعنی شاخص سیمپسون-جینی استفاده می‌شود (Jost, 2006). این شاخص از نظر تفسیر بسیار ساده و شهودی است به طوری که مقادیر بالاتر این شاخص نشان‌دهنده‌ی تنوع بیشتر هستند (Jost, 2006). در این مطالعه شاخص تنوع سیمپسون برابر با ۰/۲ و شاخص سیمپسون-جینی برابر با ۰/۷ برآورد شد. این مقادیر نشان می‌دهد که اگرچه گونه *P. vexans* Gl با ۳۹ جدایه بیشترین فراوانی نسبی را به خود اختصاص داده و به عنوان گونه با غالبیت نسبی مطرح است، اما سایر گونه‌ها نیز حضور قابل توجهی دارند و سطح تنوع زیستی در این جامعه نسبتاً بالا ارزیابی می‌شود. این الگوی عدم تسلط گونه‌ای، با نتایج مطالعات پیشین در جوامع آمیستی در خاک‌های با بافت مناسب مطابقت دارد. به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که خاک‌های با محتوای رطوبتی مطلوب و ساختار فیزیکی پایدار می‌توانند سبب تنوع بالای گونه‌ای و کاهش تسلط گونه‌ای خاص شود (Onoszko et al., 2025).

شاخص یکنواختی، یکی دیگر از شاخص‌های مهم تنوع زیستی است که نشان دهنده‌ی میزان توزیع یکنواخت افراد بین گونه‌ها است. مقادیر پایین این شاخص نشان دهنده‌ی غالبیت یک یا چند گونه در جامعه مورد مطالعه است (Roy & Bhattacharya, 2023). در حالی که مقادیر بالای این شاخص نشان‌دهنده‌ی آن است که تعداد تقریباً برابری از افراد به هر گونه تعلق دارند (Morris et al., 2014). این شاخص درک بهتری از توازن و پایداری جامعه را می‌دهد (Morris et al., 2014). مقدار شاخص یکنواختی در این پژوهش نشان داد که توزیع فراوانی افراد در بین گونه‌ها تقریباً یکنواخت است. این یافته‌ها با مقادیر شاخص‌های سیمپسون و شاخص سیمپسون-جینی مطابقت

تعارض منافع

در انجام مطالعه حاضر، هیچ‌گونه تضاد منافع وجود ندارد.

موازن اخلاقی

در انجام این پژوهش تمامی موازن و اصول اخلاقی رعایت گردیده است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه شیراز انجام شده است.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های مورد استفاده برای پشتیبانی از یافته‌های این پژوهش، با درخواست از نویسنده مسئول، در دسترس هستند.

سپاسگزاری

نویسندگان از انجمن قارچ‌شناسی ایران برای پشتیبانی مالی از این تحقیق، قدردانی و تشکر می‌کنند.

شاخص یکنواختی پیلو (۰/۹) برآورد شد. این نتایج حاکی از آن است توزیع

گونه‌ها در جامعه مورد مطالعه متعادل است.

تاکنون مطالعه‌ی جامعی در مورد تنوع زیستی گونه‌های فیتوپیتیوم در ایران

انجام نشده است و این مطالعه، می‌تواند گام نخست در شناخت ساختار تنوع

زیستی گونه‌های این جنس باشد. بررسی شاخص‌های مختلف تنوع زیستی

در جامعه‌ی فیتوپیتیوم جداسازی‌شده از گیاهان زیتنی شیراز نشان داد که این

جامعه از ساختاری متنوع و نسبتاً متعادل برخوردار است. اگرچه گونه *P.*

vexans Gl به عنوان گونه با غالبیت نسبی مطرح است، اما مقادیر

شاخص‌های تنوع سیمپسون-جینی و یکنواختی پیلو حاکی از توزیع نسبتاً

متوازن افراد در بین گونه‌ها است. بر اساس یافته‌های این مطالعه، به نظر

می‌رسد جامعه مورد بررسی در زمان نمونه‌برداری از پایداری نسبی برخوردار

بوده و می‌توان فرض کرد که این جامعه توان پاسخ به نوسانات محیطی را

دارد؛ هرچند تأیید این یافته‌ها نیازمند مطالعات بیشتر در این زمینه است

(Magurran, 2021; McCarthy, 2004). در مجموع، تنوع زیستی بالا و

توزیع متعادل گونه‌ها در این جامعه، بر اهمیت بوم‌شناختی فیتوپیتیوم‌های

شناسایی‌شده در این پژوهش تأکید دارد و می‌تواند مبنای مناسبی برای

مطالعات بعدی در زمینه‌ی بیماری‌زایی و مدیریت زیستی این گروه باشد.

References

- Alcala, A. V. C., Paulitz, T. C., Schroeder, K. L., Porter, L. D., Derie, M. L., & du Toit, L. J. (2016). Pythium species associated with damping-off of pea in certified organic fields in the Columbia Basin of central Washington. *Plant Disease*, 100(5), 916-925. [Link]
- Alilobonab, S., Moravaj, G., Heidari, M., & Ditrish, C. (2016). Species variation of Cicadellidae leafhoppers in Mashhad green space along with the introduction of predominant species. Proceedings of the 22nd Iranian Plant Protection Congress, Karaj, Iran.
- Babai-Ahary, A., Abrinnia, M., & Heravan, I. M. (2004). Identification and pathogenicity of Pythium species causing damping-off in sugarbeet in northwest Iran. *Australasian Plant Pathology*, 33(3), 343-347. [Link]
- Bala, K., Robideau, G. P., Lévesque, C. A., de Cock, A. W. A. M., Abad, Z. G., & Lodhi, A. M. (2010). Phytopythium Abad, de Cock, Bala, Robideau, Lodhi and Lévesque, gen. nov. and Phytopythium sindhum Lodhi, Shahzad, and Lévesque, sp. nov. *Persoonia*, 24, 136-137.
- Banihashemi, Z. (2004). A method to monitor the activity of Phytophthora spp. in the root zone of Pistacia spp. *Phytopathologia Mediterranea*, 43, 411-413. [Link]
- Barzegar, F., & Banihashemi, Z. (2011). Identification and pathogenicity of turfgrass infecting fungi in Shiraz landscape. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 47, 361-377.

- Baten, M. A., Asano, T., Motohashi, K., Ishiguro, Y., Rahman, M. Z., Inaba, S., & Kageyama, K. (2014). Phylogenetic relationships among *Phytophythium* species, and re-evaluation of *Phytophythium fagopyri* comb. nov., recovered from damped-off buckwheat seedlings in Japan. *Mycological Progress*, 13(4), 1145-1156. [Link]
- Baten, M. A., Mingzhu, L., Motohashi, K., Ishiguro, Y., Rahman, M. Z., Suga, H., & Kageyama, K. (2015). Two new species, *Phytophythium iriomotense* sp. nov. and *P. aichiense* sp. nov., isolated from river water and water purification sludge in Japan. *Mycological Progress*, 14, 1-12. [Link]
- Bennett, R. M., Nam, B., Dedeles, G. R., & Thines, M. (2017). *Phytophythium leanoi* sp. nov. and *Phytophythium dogmae* sp. nov., *Phytophythium* species associated with mangrove leaf litter from the Philippines. *Acta Mycologica*, 52(2). [Link]
- Bolboli, Z., & Mostowfizadeh-Ghalefarsa, R. (2014). Identification of *Phytophythium vexans*, the causal agent of ivy root rots in Shiraz. Proceedings of the 21st Iranian Plant Protection Congress, Urmia, Iran.
- Broders, K. D., Wallhead, M. W., Austin, G. D., Lipps, P. E., Paul, P. A., Mullen, R. W., & Dorrance, A. E. (2009). Association of soil chemical and physical properties with *Pythium* species diversity, community composition, and disease incidence. *Phytopathology*, 99(8), 957-967. [Link]
- Chenari Bouket, A., Babai-Ahari, A., Arzanlou, M., & Tojo, M. (2016). Morphological and molecular characterization of *Phytophythium litorale* and *Pp. oedochilum* from Iran. *Nova Hedwigia*, 102(1-2), 257-270. [Link]
- Choudhary, C. E., Burgos-Garay, M. L., Moorman, G. W., & Hong, C. (2016). *Pythium* and *Phytophythium* species in two Pennsylvania greenhouse irrigation water tanks. *Plant Disease*, 100(5), 926-932. [Link]
- Coffua, L. S., Veterano, S. T., Clipman, S. J., Mena-Ali, J. I., & Blair, J. E. (2016). Characterization of *Pythium* spp. associated with asymptomatic soybean in southeastern Pennsylvania. *Plant Disease*, 100(9), 1870-1879. [Link]
- Corcobado, T., Cech, T. L., Daxer, A., Ďatková, H., Janoušek, J., Patra, S., Jahn, D., Hüttler, C., Milenković, I., Tomšovský, M., Horta Jung, M., & Jung, T. (2023). *Phytophthora*, *Nothophytophthora* and *Halophytophthora* diversity in rivers, streams and riparian alder ecosystems of Central Europe. *Mycological Progress*, 22(7), 50. [Link]
- de Cock, A. W. A. M., Lodhi, A. M., Rintoul, T. L., Bala, K., Robideau, G. P., Abad, Z. G., & Lévesque, C. A. (2015). *Phytophythium*: molecular phylogeny and systematics. *Persoonia: Molecular Phylogeny and Evolution of Fungi*, 34, 25-39. [Link]
- Delshad, D., Salmaninezhad, F., & Mostowfizadeh-Ghalefarsa, R. (2025). Exploring the genetic diversity of *Phytophythium vexans* through ISSR markers. *Journal of Plant Pathology*, 107(1), 577-588. [Link]
- Derviş, S., Türkölmez, Ş., Çiftçi, O., Özer, G., Ulubaş Serçe, Ç., & Dikilitas, M. (2020). *Phytophythium litorale*: A novel killer pathogen of plane (*Platanus orientalis*) causing canker stain and root and collar rot. *Plant Disease*, 104(10), 2642-2648. [Link]
- Dorrance, A. E., Berry, S. A., & Lipps, P. E. (2004). Characterization of *Pythium* spp. from three Ohio fields for pathogenicity on corn and soybean and metalaxyl sensitivity. *Plant Health Progress*, 5(1). [Link]
- Drummond, A. J., Ashton, B., Buxton, S., Cheung, M., Cooper, A., Heled, J., Kearse, M., Moir, R., Stones-Havas, S., Sturrock, S., Thierer, T., & Wilson, A. (2010). Geneious v5.1.
- Ershad, D. (1977). Contribution to the knowledge of *Pythium* species of Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 13(3/4), 26-74.
- Feng, H., Chen, J., Yu, Z., Li, K., Li, Z., Li, Y., & Zheng, X. (2020). Pathogenicity and fungicide sensitivity of *Pythium* and *Phytophythium* spp. associated with soybean in the Huang-Huai region of China. *Plant Pathology*, 7, 1-23. [Link]
- Fiore-Donno, A. M., & Bonkowski, M. (2021). Different community compositions between obligate and facultative oomycete plant parasites in a landscape-scale metabarcoding survey. *Biology and Fertility of Soils*, 57(2), 245-256. [Link]
- Ghaderi, F., & Banihashemi, Z. (2011). Identification and pathogenicity of *Pythium* spp. isolated from walnut seedlings in Fars province nurseries. *Applied Entomology and Phytopathology*, 78(2), 237-256.
- Gonçalves, D. R., de Jesus, A. L., & Pires-Zottarelli, C. L. (2016). *Pythium* and *Phytophythium* species associated with hydroponically grown crops around the City of São Paulo, Brazil. *Tropical Plant Pathology*, 41(6), 397-405. [Link]
- Guajardo, J., Saa, S., Riquelme, N., Browne, G., Youlton, C., Castro, M., & Besoain, X. (2019). Characterization of oomycete species associated with root and crown rot of English walnut in Chile. *Plant Disease*, 103(4), 691-696. [Link]
- Gunnell, P. S., & Webster, R. K. (1988). Crown and root rot of cultivated wild rice in California caused by *Phytophthora erythroseptica* sensu lato. *Plant Disease*, 72(10), 909-910. [Link]
- Jankowiak, R., Stepniewska, H., & Bilanski, P. (2015). Notes on some *Phytophythium* and *Pythium* species occurring in oak forests in southern Poland. *Acta Mycologica*, 50(1), 1052. [Link]
- Jeffers, S. N., & Martin, S. B. (1986). Comparison of two media selective for *Phytophthora* and *Pythium* species. *Plant Disease*, 70(11), 1035-1043. [Link]
- Jesus, A. L., Gonçalves, D. R., Rocha, S. C. O., Marano, A. V., Jerônimo, G. H., De Souza, J. I., & Pires-Zottarelli, C. L. A. (2016). Morphological and phylogenetic analyses of three *Phytophythium* species (Peronosporales, Oomycota) from Brazil. *Cryptogamie, Mycologie*, 37, 117-128. [Link]
- Jost, L. (2006). Entropy and diversity. *Oikos*, 113(2), 363-375. [Link]

- Jung, T., Scanu, B., Brasier, C. M., Webber, J., Milenković, I., Corcobado, T., & Horta Jung, M. (2020). A survey in natural forest ecosystems of Vietnam reveals high diversity of both new and described Phytophthora taxa including *P. ramorum*. *Forests*, 11(1), 93. [Link]
- Kageyama, K. (2014). Molecular taxonomy and its application to ecological studies of *Pythium* species. *Journal of General Plant Pathology*, 80(4), 314-326. [Link]
- Kitikidou, K., Milios, E., Stampoulidis, A., Pipinis, E., & Radoglou, K. (2024). Using biodiversity indices effectively: considerations for forest management. *Ecologies*, 5(1), 42-51. [Link]
- Kumar, S., Stecher, G., & Tamura, K. (2016). MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Molecular Biology and Evolution*, 33(7), 1870-1874. [Link]
- Kunakh, O. M., Volkova, A. M., Tutova, G. F., & Zhukov, O. V. (2023). Diversity of diversity indices: Which diversity measure is better? *Biosystems Diversity*, 31(2), 131-146. [Link]
- Leanio, E. M. (2001). Straminipilous organisms from fallen mangrove leaves from Panay Island, Philippines. *Fungal Diversity*, 6, 75-81.
- Lodhi, A. M., Shahzad, S., & Syed, R. N. (2020). *The genus Phytopythium*. CRC Press. [Link]
- Magurran, A. E. (2021). Measuring biological diversity. *Current Biology*, 31(19), R1174-R1177. [Link]
- Matthiesen, R. L., Ahmad, A. A., & Robertson, A. E. (2016). Temperature affects aggressiveness and fungicide sensitivity of four *Pythium* spp. that cause soybean and corn damping off in Iowa. *Plant Disease*, 100(3), 583-591. [Link]
- McCarthy, B. C. (2004). Measuring biological diversity. *Journal of the Torrey Botanical Society*, 131(3), 277. [Link]
- Mirabolfathly, M., & Ershad, D. (1996). Studies on the conifer damping-off in the forest nurseries of northern and central Iran. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 32, 16-26.
- Mizeriene, G., Lygis, V., & Prospero, S. (2025). Oomycete diversity and ecology in declining alder stands in Switzerland. *Microbial Ecology*, 88(1), 49. [Link]
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fischer, M., Hancock, C., Maier, T. S., Meiners, T., Müller, C., Obermaier, E., Prati, D., Socher, S., Sonnemann, I., Wäschke, N., Wubet, T., Wurst, S., & Rillig, M. C. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, 4(18), 3514-3528. [Link]
- Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R. (2016). *Pythium species in Iran*. Shiraz University Press.
- Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R., & Banihashemi, Z. (2005). Identification of soil *Pythium* species in Fars province of Iran. *Iranian Journal of Science & Technology*, 29(A1), 79-87.
- Nam, B., & Choi, Y. J. (2019). *Phytopythium* and *Pythium* species (Oomycota) isolated from freshwater environments of Korea. *Mycobiology*, 47(3), 261-272. [Link]
- Navarro, K. A., Wijeratne, S., Culman, S., Benitez, M. S., & Dorrance, A. E. (2021). Comparison of the species communities of *Phytophthora*, *Pythium*, and *Phytopythium* associated with soybean genotypes in high disease environments in Ohio. *Phytobiomes Journal*, 5(3), 288-304. [Link]
- Nechwatal, J., & Mendgen, K. (2006). *Pythium litorale* sp. nov., a new species from the littoral of Lake Constance, Germany. *FEMS Microbiology Letters*, 255(1), 96-101. [Link]
- Nguyen, H. D., Dodge, A., Dadej, K., Rintoul, T. L., Ponomareva, E., Martin, F. N., de Cock, A. W. A. M., Lévesque, C. A., Redhead, S. A., & Spies, C. F. (2022). Whole genome sequencing and phylogenomic analysis show support for the splitting of genus *Pythium*. *Mycologia*, 114(3), 501-515. [Link]
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2014). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119-129. [Link]
- Onoszko, K., González-Moreno, P., & Ruiz-Gómez, F. J. (2025). Unravelling the diversity of soil fungal and oomycete communities in the *Quercus ilex* L. rhizosphere of dehesa grasslands: a metabarcoding approach. *Plant and Soil*, 1-30. [Link]
- Parke, J. L., Knaus, B. J., Fieland, V. J., Lewis, C., & Grünwald, N. J. (2014). *Phytophthora* community structure analyses in Oregon nurseries inform systems approaches to disease management. *Phytopathology*, 104(10), 1052-1062. [Link]
- Parkunan, V., & Ji, P. (2013). Isolation of *Pythium litorale* from irrigation ponds used for vegetable production and its pathogenicity on squash. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 35(3), 415-421. [Link]
- Polat, Z., Awan, Q. N., Hussain, M., & Akgül, D. S. (2017). First report of *Phytopythium vexans* causing root and collar rot of kiwifruit in Turkey. *Plant Disease*, 101(6), 1058. [Link]
- Prencipe, S., Savian, F., Nari, L., Ermacora, P., Spadaro, D., & Martini, M. (2020). First Report of *Phytopythium vexans* causing decline syndrome of *Actinidia deliciosa* 'Hayward' in Italy. *Plant Disease*. [Link]
- Radmer, L., Anderson, G., Malvick, D. M., Kurl, J. E., Rendahl, A., & Mallik, A. (2017). *Pythium*, *Phytophthora*, and *Phytopythium* spp. associated with soybean in Minnesota, their relative aggressiveness on soybean and corn, and their sensitivity to seed treatment fungicides. *Plant Disease*, 101(1), 62-72. [Link]
- Ranjbaran, M., Alizadeh, A., & Safaie, N. (2006). Genetic diversity of Iranian populations of *Phytophthora nicotianae* using RAPD and ISSR markers. *Iranian Journal of Plant Pathology*, 42, 619-638.
- Rezaei, S., Abrinbana, M., & Ghosta, Y. (2021). Taxonomic and pathogenic characterization of *Phytopythium* species from West Azarbaijan, Iran, and description of two new species. *Mycologia*, 113(3), 612-628. [Link]

- Riit, T., Cleary, M., Adamson, K., Blomquist, M., Burokienė, D., Marčiulytė, D., Oliva, J., Poimala, A., Redondo, M. A., Strømeng, G. M., Talgø, V., Tedersoo, L., Thomsen, I. M., Uimari, A., Witzell, J., & Drenkhan, R. (2023). Oomycete soil diversity associated with *Betula* and *Alnus* in forests and urban settings in the Nordic-Baltic region. *Journal of Fungi*, 9(9), 926. [Link]
- Robideau, G. P., De Cock, A. W., Coffey, M. D., Voglmayr, H., Brouwer, H., Bala, K., Chitty, D. W., Désaulniers, N., Eggertson, A. Q., Gachon, C. M. M., Hu, C., Küpper, F. C., Rintoul, T. I., Verstappen, E., Zhang, Y., Bonants, P. J. M., Ristaino, J. B., & Lévesque, C. A. (2011). DNA barcoding of oomycetes with cytochrome c oxidase subunit I and internal transcribed spacer. *Molecular Ecology Resources*, 11(6), 1002-1011. [Link]
- Ronquist, F., & Huelsenbeck, J. P. (2003). MrBayes 3: Bayesian phylogenetic inference under mixed models. *Bioinformatics*, 19, 1572-1574. [Link]
- Roy, S., & Bhattacharya, K. R. (2023). A new biodiversity index and the corresponding index of evenness: A simple theoretical analysis. *Brainwave: A Multidisciplinary Journal*, 4(3), 445-453.
- Salmaninezhad, F., & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R. (2019). Oomyceteous flora of ornamental trees of Shiraz County (Iran). *Rostaniha*, 20(1), 29-43.
- Salmaninezhad, F., & Mostowfizadeh-Ghalamfarsa, R. (2023). The current status of *Phytophthora* species in Iran: Challenges in identification of an intermediate taxon. *Mycologia Iranica*, 10(1), 1-12. [Link]
- Serrano, M., & Robertson, A. E. (2018). The effect of cold stress on damping-off of soybean caused by *Pythium sylvaticum*. *Plant Disease*, 102(11), 2194-2200. [Link]
- Sharifnabi, B., Ghaderi, F., & Javadi, N. (2019). Morphological and molecular identification of some causal agents of root and crown rot diseases of almond in Isfahan and Chaharmahal and Bakhtiari provinces. *Iranian Journal of Plant Protection Science*, 49(2), 227-241. [Link]
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of diversity. *Nature*, 163(4148), 688. [Link]
- Singleton, L. L., Mihail, J. D., & Rush, C. M. (1992). *Methods for research on soilborne phytopathogenic fungi*. APS Press.
- Spies, C. F., Mazzola, M., Botha, W. J., Van Der Rijst, M., Mostert, L., & McLeod, A. (2011). Oogonial biometry and phylogenetic analyses of the *Pythium vexans* species group from woody agricultural hosts in South Africa reveal distinct groups within this taxon. *Fungal Biology*, 115(2), 157-168. [Link]
- Stover, B. C., & Muller, K. F. (2010). TreeGraph 2: combining and visualizing evidence from different phylogenetic analyses. *BMC Bioinformatics*, 11, 1-9. [Link]
- Thines, M. (2014). Phylogeny and evolution of plant pathogenic oomycetes - a global overview. *European Journal of Plant Pathology*, 138(3), 431-447. [Link]
- Thompson, J. D., Gibson, T. J., Plewniak, F., Jeanmougin, F., & Higgins, D. G. (1997). The ClustalX windows interface: flexible strategies for multiple sequence alignment aided by quality analysis tools. *Nucleic Acids Research*, 25, 4876-4882. [Link]
- Tkaczyk, M. (2020). *Phytophthora*: origin, differences and meaning in modern plant pathology. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*, 62(3), 227-232. [Link]
- Van der Plaats-Niterink, A. J. (1981). *Monograph of the genus Pythium* (Vol. 21). Centraalbureau voor Schimmelcultures.
- Vawdrey, L. L., Langdon, P., & Martin, T. (2005). Incidence and pathogenicity of *Phytophthora palmivora* and *Pythium vexans* associated with durian decline in far northern Queensland. *Australasian Plant Pathology*, 34(1), 127-128. [Link]
- Wager, V. A. (1942). *Phytophthora cinnamomi* and wet soil in relation to the dying-back of avocado trees. *California Agricultural Experiment Station*. [Link]
- Whittaker, R. H. (1972). Evolution and measurement of species diversity. *Taxon*, 21(2-3), 213-251. [Link]
- Wrather, J. A., & Koenning, S. R. (2006). Estimates of disease effects on soybean yields in the United States 2003 to 2005. *Journal of Nematology*, 38(2), 173-183.
- Yang, X., Tyler, B. M., & Hong, C. (2017). An expanded phylogeny for the genus *Phytophthora*. *IMA Fungus*, 8(2), 355-384. [Link]
- Zeng, H. C., Ho, H. H., & Zheng, F. C. (2005). *Pythium vexans* causing patch canker of rubber trees on Hainan Island, China. *Mycopathologia*, 159(4), 601-606. [Link]