دانشگاه آزاد اسلامی واحد رفسنجان
ISLAMIC AZAD UNIVERSITY OF RAFSANJAN

مجله علمی پژوهش های کاربردی در

خشک میوه ها

Journal of Applied Researches in NUTS

مقالات

۱. مروری بر ترکیبات فیتوشیمیایی و خواص درمانی گردو *Juglans regia* L. مطالعه موردی: استان کرمان

شهاب اوجانی ، مژگان مسعودی ، سید محمدرضا حسینی پور

۲. تحلیل بازار جهانی تولید و صادرات پسته و ارزیابی تغییرات مزیت نسبی صادراتی پسته ایران

سید محمد رضا حسینی پور

۳. بررسی اثربخشی نانوذرات و قارچ‌کش‌های تجاری در مهار رشد عوامل پوسیدگی طوقه و ریشه درختان پسته

جلال شعبانی ، فاطمه حسن زاده داورانی ، امیرحسین محمدی

۴. تاثیر منابع مختلف گوگرد روی پسیل معمولی پسته و برخی دشمنان طبیعی آن در مطالعات موردی

زهرا شیبانی تذرجی

۵. بهینه سازی پروتکل ریزازدیادی پایه پسته UCB1

فرشته کامیاب

۶. شناسایی گونه‌های بومی *Trichoderma* با فراوانی بالا در ناحیه فرا ریشه درختان پسته

محمد مرادی قهدریجانی ، فاطمه حسن زاده داورانی

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

A Review of Phytochemical Compounds and Therapeutic Properties of *Juglans regia* L. Case study: Kerman Province

Shahab Ojani[1,*], Mozhgan Masoudi[2], Seyed Mohammad Reza Hosseinipour[3]

1 Institute of Nano Science and Nano Technology, University of Kashan, Kashan, Iran

2 Department of Chemistry, Raf. C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran

3 Department of Economics, Raf. C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran

*Corresponding Author: Shahab_ojani@yahoo.com

Recieved:2025/8/21 Accepted:2025/9/17

Abstract

Numerous studies have shown that plants of the Juglandaceae family contain valuable compounds such as alkaloids, flavonoids, and terpenoids. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has listed walnuts as one of the top ten food products due to their nutritional value and health benefits. Free radical species can cause irreversible damage to vital molecules such as nucleic acids, proteins, and lipids. Antioxidants protect biological systems from this damage by neutralizing the activity of free radicals. Walnuts (*Juglans regia* L.) from the Juglandaceae family are a widely consumed nut due to their rich nutritional content and valuable oils. Walnut kernels are rich in phytochemical compounds with antioxidant properties that can be beneficial to human health. These compounds can be used as a preventative factor against various diseases like cancer, as well as an aid in the treatment of some diseases such as diabetes. The increasing demand for herbal medicines has made research in this field appealing, as it seeks natural alternatives that can replace chemical products or at least reduce their use. Therefore, the aim of this study is to evaluate the properties of the bioactive compounds found in walnuts. These compounds exhibit various biological activities, including antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, anticancer, and antidiabetic effects, and have potential applications in the pharmaceutical and food industries.

Keywords: *Juglans regia* L., Phytochemical compounds, Antioxidant activities, Cancer

Published by Islamic Azad University, Rafsanjan .This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Extended Abstract

Introduction

Walnut (scientific name: *Juglans regia* L.) is one of the most widespread and important commercial tree nuts cultivated worldwide. This family has 21 species, of which the Iranian walnut with diploid karyotype (2n-2x=32) is one of the most important economic species and is known as the best walnut for producing edible seeds due to the high quality of its fruit and wood (McGranahan, and Leslie, 1998). This species has high genetic diversity due to reproductive and cross-pollination propagation (Salehi Shanjani et al., 2021). China ranks first among producing countries, producing 44.9% of the world's walnuts. Iran ranks second in terms of walnut cultivation area and third in terms of production after China and the United States (FAO, 2017). Walnuts have been used for a long time to treat various diseases. Walnut kernels are used in traditional medicine to treat inflammatory bowel diseases as well as diabetes, asthma, diarrhea, venous insufficiency, and hemorrhoids (Kaileh et al., 2007; Jaradat, 2005). The extensive therapeutic properties of walnuts are mainly due to the presence of phytochemicals such as flavonoids, alkaloids, phenolic compounds, etc (Pourshamsian and Ojani, 2016). These compounds are effective in the treatment of cardiovascular diseases, type 2 diabetes, hypertension, and acne, and act as liver protectors and lipid reducers (Delaviz et al., 2017). In addition, walnuts have antimicrobial, antifungal, anti-inflammatory, and antiparasitic properties (Gupta et al., 2019; Fadi et al., 2005; and Noumi et al., 2010). Walnut, as an important species with many uses, is widely cultivated worldwide mainly for nut production and oil extraction (Bernard et al., 2021; Ding et al., 2022; Wambulwa et al., 2022). Research has shown that walnut leaves, bark, and fruit also have significant therapeutic activities (Girzu et al., 1998). It is noteworthy that among all nuts, walnuts have the highest antioxidant content, which is very effective in eliminating free radicals (Claudia et al., 1997). Due to the increasing antibiotic resistance and side effects of chemicals, the use of natural products has increased dramatically. This has led to the expansion of research to discover new natural antimicrobial compounds with minimal side effects. Experimental evidence shows that ethanolic extract of walnut bark has a significant antibacterial effect against various oral bacteria such as Streptococcus mutans, which could provide a basis for the use of a natural antimicrobial agent for oral hygiene (Zakavi et al., 2013). In addition, due to the spread of resistance to antiparasitic drugs in livestock, researchers are looking for alternative ways such as using medicinal plants. In this context, the ethanolic extract of walnut leaves is very effective in eliminating the parasite Ascaridia galli in poultry (Mir et al., 2024). The main limitations of anticancer therapies, such as low therapeutic index and resistance to chemotherapy and radiotherapy, have made the use of natural products with fewer side effects a promising solution. For this reason, the isolation of plant bioactive compounds has gained great importance (Ojani et al., 2023; Ojani et al., 2024). Although conventional treatments are effective, there is a need to develop new drugs from natural sources to reduce the side effects of chemical drugs. This has led researchers to investigate various plants with diverse therapeutic properties, including anticancer, antidiabetic, and antimicrobial (Pereira et al., 2007; Suksomboon et al., 2011; Mohammadi et al., 2008; Mohammadi et al., 2012; Ebrahimi et al., 2019). Finally, considering the numerous biological properties of walnuts and their importance, the present study reviews the phytochemical compounds and therapeutic properties of walnuts (*Juglans regia* L.). Case study: Kerman Province.

Materials and Methods

In this review, a search was conducted in reputable domestic and foreign databases using the keywords *Juglans regia* L., phytochemical compounds, antioxidant activities, and cancer.

Results and Discussions

Walnuts are one of the most widely consumed tree nuts in the world and have been used as a nutrient-rich food for many years (Gao et al., 2020). Globally, walnuts rank second in nut production after almonds and China, the United States, and Iran are the largest producers of this product, respectively (Taghiadeh et al., 2020). The nutritional and physiological benefits of walnuts have led to an increase in demand for them. Numerous studies have shown that plants of the Juglandaceae family contain valuable compounds such as alkaloids, flavonoids, and terpenoids. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) has listed walnuts as one of the top ten food products due to their nutritional value and health benefits. Walnuts are one of the richest natural sources of unsaturated fatty acids. Alpha-linolenic acid, an omega-3 fatty acid, helps improve cardiovascular health and reduce inflammation by reducing LDL cholesterol and increasing HDL cholesterol. Also, phytosterols in walnuts help reduce blood cholesterol levels by inhibiting cholesterol absorption in the digestive tract (Jahanbani et al., 2016). Research in Iran has shown that the fatty acid composition of walnuts is influenced by cultivar, climate, and altitude of cultivation. For example, cold regions such as Qazvin show a higher ratio of linoleic acid to oleic acid, while warmer regions such as Kerman and Rafsanjan have a higher ratio of oleic acid. These differences affect the nutritional value and shelf life of the product (Roozban et al., 2006). Importantly, walnuts are the only fruit that contain silver, and the only organ in the body that needs silver ions is the brain. Silver is effective in protecting brain health and learning processes and enters the body through walnut consumption (Bayazit et al., 2016). In addition, the iron and copper in walnuts are essential for the formation of red blood cells. Manganese helps prevent neurological diseases by regulating carbohydrate metabolism and promoting bone health. Selenium is an essential trace element that must be supplied through the diet, as the human body is unable to produce its physiological form (Zhang et al., 2022). In addition to providing amino acids, walnut protein peptides have numerous biological activities, such as anticancer, anti-inflammatory, and blood pressure-lowering properties.

Conclusion

Walnuts have been used in traditional medicine to treat many diseases and have many medicinal properties due to their phenolic compounds, terpenoids, coumarins, flavonoids, tannins, saponins, and alkaloids. These effective compounds have also been suggested to reduce the risk of high blood pressure, diabetes mellitus, and cancer. Data from previous studies confirm that walnuts are a rich source of important nutrients that are beneficial to human health. Given the numerous compounds and therapeutic properties of walnuts, further studies are necessary to investigate their other unknown properties. It is also recommended to conduct further research and clinical trials to more precisely identify molecular mechanisms and effective doses, as well as to understand the information pathways and related genes, in order to develop natural and effective therapeutic alternatives, especially for major health problems.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

مروری بر ترکیبات فیتوشیمیایی و خواص درمانی گردو *Juglans regia* L. مطالعه موردی: استان کرمان

شهاب اوجانی[1*]، مژگان مسعودی[2]، سید محمدرضا حسینی پور[3]

[1] پژوهشگاه علوم و فناوری نانو، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

[2] گروه شیمی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران

[3] گروه اقتصاد، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران

* نویسنده مسئول: شهاب اوجانی Shahab_ojani@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۵/۳۰ تاریخ پذیرش :۲۶/ ۶ /۱۴۰۴

چکیده

مطالعات متعدد نشان داده‌اند که گیاهان خانواده Juglandaceae حاوی ترکیبات ارزشمندی مانند آلکالوئیدها، فلاونوئیدها و ترپنوئیدها هستند. سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) گردو را به دلیل ارزش تغذیه‌ای و فواید بهداشتی، به عنوان یکی از ده محصول غذایی برتر معرفی کرده است. گونه‌های رادیکال آزاد می‌توانند به مولکول‌های حیاتی مانند اسیدهای نوکلئیک، پروتئین‌ها و لیپیدها آسیب برگشت‌ناپذیر وارد کنند. آنتی‌اکسیدان‌ها با خنثی‌سازی فعالیت رادیکال‌های آزاد، سیستم‌های بیولوژیک را در برابر این آسیب‌ها محافظت می‌کنند. گردو با نام علمی *Juglans regia* L. و از خانواده Juglandaceae، به دلیل داشتن مواد مغذی و روغن‌های ارزشمند، یک مغز پرمصرف است. گردو حاوی ترکیبات فیتوشیمیایی غنی با خواص آنتی‌اکسیدانی است که می‌تواند در سلامتی انسان مؤثر باشد. این ترکیبات می‌توانند به عنوان عاملی برای پیشگیری از بیماری‌های مختلف مانند سرطان و همچنین کمک به درمان برخی بیماری‌ها مانند دیابت استفاده شوند. افزایش تقاضا برای داروهای گیاهی، تحقیقات در این زمینه را برای یافتن جایگزین‌های طبیعی که بتوانند جایگزین محصولات شیمیایی شوند یا حداقل استفاده از آن‌ها را کاهش دهند، جذاب کرده است. بنابراین، هدف از این مطالعه، ارزیابی خواص ترکیبات زیست‌فعال موجود در گردو است. این ترکیبات فعالیت‌های زیستی مختلفی مانند آنتی‌اکسیدانی، ضد میکروبی، ضد التهابی، ضد سرطانی و ضد دیابتی از خود نشان می‌دهند و کاربردهای بالقوه‌ای در داروسازی و صنایع غذایی دارند.

واژگان کلیدی: *Juglans regia* L.، ترکیبات فیتوشیمیایی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، سرطان.

انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد با گواهی CC BY-NC ۴.۰ صورت گرفته است.

http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

مقدمه

گـردو بـا نـام علـمی *Juglans regia* L. از خانـواده Juglandaceae ، یـکی از گسـترده‌ترین و مهم‌تریـن آجیل‌هـای تجـاری درخـتی اسـت کـه در سراسـر جهـان کشـت می‌شـود. ایـن خانـواده شـامل ۲۱ گونـه اسـت کـه گـردوی ایـرانی بـا کاریوتیـپ دیپلوئیـد، (2n-2x=32) یـکی از مهم‌تریـن گونه‌هـای اقتصـادی آن بـه شـمار می‌رود و بـه دلیـل کیفیـت بـالای میـوه و چـوب، بـه عنـوان بهتریـن گـردو بـرای تولیـد دانـه خـوراکی شـناخته می‌شـود (McGranahan, and Leslie, 1998). ایـن گونـه بـه دلیـل تکثیـر زایـشی و دگرگرده‌افشـانی، دارای تنـوع ژنتیـکی بـالایی اسـت (Salehi Shan-jani et al., 2021). چیـن بـا تولیـد ۴۴/۹ درصـد گـردوی جهـان، رتبـه اول را در بیـن کشـورهای تولیدکننـده دارد. ایـران نیـز از نظـر سـطح زیـر کشـت گـردو در رتبـه دوم و از نظـر میـزان تولیـد پـس از چیـن و آمریـکا، در جایـگاه سـوم جهـانی قـرار دارد (FAO., 2017). طبـق گـزارش (FAO)، کل تولیـد گـردو در سـال ۲۰۲۲ بـه ۳/۹۰۳ میلیـون تـن رسـید کـه از ۱/۲۳۴ میلیـون هکتـار زمیـن برداشـت شـده اسـت (FAOSTAT, 2025). در طـب سـنتی، گـردو بـا نـام عـربی جـوز شـناخته می‌شـود و بـه زبـان فرانسـوی Noyer cimmun و بـه انگلیـسی Walnut tree نـام دارد (Pereira., 2007). از دیربـاز از گـردو بـرای درمـان بیماری‌هـای مختلـف اسـتفاده شـده اسـت. مغـز گـردو در طـب سـنتی بـرای درمـان بیماری‌هـای التهـابی روده و هـم چنیـن دیابـت، آسـم، اسـهال، نارسـایی وریـدی، و هموروئیـد مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد (Kaileh et al., 2007; Jaradat, 2005). خـواص درمـانی گسـترده گـردو عمدتـا بـه دلیـل وجـود ترکیبـات فیتوشیمیـایی ماننـد فلاونوئیدهـا، آلکالوئیدهـا، ترکیبـات فنولیـک و غیـره اسـت (Pourshamsian and Ojani, 2016) ایـن ترکیبـات در درمـان بیماری‌هـای قلـبی - عـروقی، دیابـت نـوع ۲، فشـار خـون بـالا، و آکنـه مؤثـر بـوده و بـه عنـوان محافـظ کبـد و کاهش‌دهنـده چـربی خـون عمـل می‌کننـد(Delaviz et al., 2017). علاوه بـر ایـن، گـردو دارای خـواص ضدمیکـروبی، ضدقـارچی، ضدالتهـابی و ضدانـگل اسـت (Gupta et al., 2019; Fadi et al., 2005; and Noumi et al., 2010).

گـردو بـه عنـوان یـک گونـه مهـم بـا کاربردهـای فـراوان، بـه طـور گسـترده در سراسـر جهـان عمدتـا بـرای تولیـد مغـز و اسـتخراج روغـن کشـت می‌شـود (Bernard et al., 2021; Ding et al., 2022; Wambulwa et al., 2022) . تحقیقـات نشـان داده‌انـد کـه برگ‌هـا، پوسـت و میـوه گـردو نیـز فعالیت‌هـای درمـانی قابـل توجـهی دارنـد (Girzu et al., 1998). گـردو منبـع غـنی از اسیدهـای چـرب ضـروری و توکوفرول‌هـا اسـت و حـاوی ترکیبـات محافظت‌کننـده عصـبی بالقـوه ماننـد گاما-توکوفـرول (ویتامیـن E)، و اسیدهـای چـرب امـگا ۳ بـا زنجیـره بلنـد اسـت کـه مطالعـات نقـش آن را در درمـان زوال عقـل و بیمـاری آلزایمـر نیـز نشـان داده‌انـد (Subhan et al., 2017; and Balu, et al., 2014). مغـز گـردو معمـولا حـاوی ترکیبـات فنـولی ماننـد اسیدهـای فنولیـک (ماننـد گالیـک اسـید، الاژیـک اسـید، کافئیـک اسـید، پـارا-کوماریـک اسـید، فرولیـک اسـید، سیناپیـک اسـید)، تانن‌هـا، کاتچیـن و ژوگلـون اسـت. هـم چنیـن ترکیبـات فنـولی موجـود در برگ‌هـای گـردو نیـز توسـط محققـان مـورد مطالعـه قـرار گرفتـه و اثـر دارویی آن‌هـا مشـخص شـده اسـت (Martínez et al., 2010). گـزارش شـده اسـت کـه ترکیبـات فنـولی گـردو نتایـج امیدبخـشی در بهبـود بیماری‌هـای عـروق کرونـر، فعالیـت ضدالتهـابی، ضـد جهـش‌زایی و آنتی‌اکسیـدانی دارنـد و می‌تواننـد از پیشـرفت بیماری‌هـای مرتبـط بـا اسـترس اکسیداتیـو جلوگیـری کننـد (Stampar et al., 2006; Valko et al., 2007; Basri et al., 2017).

آنتی‌اکسیدان‌هـای طبیـعی، عمدتـا ترکیبـات فنـولی هسـتند کـه در تمـام بخش‌هـای یـک گیـاه وجـود دارنـد و از متابولیت‌هـای ثانویـه‌ای بـه شـمار می‌رونـد کـه گیاهـان در واکنـش بـه گونه‌هـای فعـال اکسیـژن تولیـد می‌کننـد. فعالیـت آنتی‌اکسیـدانی ایـن ترکیبـات بـه دلیـل خـواص اکسیداسیـون و کاهـشی آن‌هاسـت کـه بـه آن‌هـا امـکان می‌دهـد بـه عنـوان عامـل احیاکننـده، دهنـده هیـدروژن و خنثی‌کننـده عمـل کننـد. بـا توجـه بـه اینکـه آنتی‌اکسیدان‌هـا بـه طـور طبیـعی در بسیـاری از منابـع موجـود هسـتند، افـزودن ترکیبـات آنتی‌اکسیـدانی بـرای حفـظ کیفیـت محصـولات ضـروری اسـت(Wijngaard and Brunton., 2009) . نکتـه قابـل توجـه ایـن اسـت کـه در میـان تمـام آجیل‌هـا، گـردو بالاتریـن میـزان آنتی‌اکسیـدان را دارد کـه در از بیـن بـردن رادیکال‌هـای آزاد بسیـار مؤثـر اسـت (Claudia et al., 1997). بـا توجـه بـه افزایـش مقاومـت آنتی‌بیوتیـکی و عـوارض جانـبی مـواد شیمیـایی، اسـتفاده از محصـولات طبیـعی بـه شـدت افزایـش یافتـه اسـت. ایـن امـر باعـث شـده تحقیقـات بـرای کشـف ترکیبـات ضدمیکـروبی طبیـعی جدیـد و بـا کمتریـن عـوارض جانـبی گسـترش یابـد. شـواهد تجـربی نشـان می‌دهـد کـه عصـاره اتانـولی پوسـت درخـت گـردو دارای اثـر ضدباکتریـایی

قابل توجهی علیه باکتری‌های دهانی مختلفی مانند استرپتوکوک موتانس است، که می‌تواند زمینه‌ساز استفاده از یک ماده ضدمیکروبی طبیعی برای بهداشت دهان و دندان باشد (Zakavi et al., 2013). علاوه بر این، با توجه به گسترش مقاومت به داروهای ضدانگل در دام‌ها، پژوهشگران به دنبال راه‌های جایگزین مانند استفاده از گیاهان دارویی هستند. در این زمینه، عصاره اتانولی برگ گردو در از بین بردن انگل *Ascaridia galli* در طیور بسیار موثر است(Mir et al., 2024) . هم چنین، نفتالین موجود در برگ گردو می‌تواند حشرات موذی مانند بید و ساس را از بین ببرد(Cosmulescu and Trandafir., 2011) .

در سال‌های اخیر، با افزایش جمعیت مبتلا به دیابت، نیاز به راه‌حل‌های جدید برای پیشگیری و درمان این بیماری با حداقل عوارض جانبی افزایش یافته است. شواهد نشان می‌دهد که میوه‌های خشک، با کربوهیدرات کم و پروتئین و چربی غیراشباع بالا، یک میان‌وعده ایده‌آل برای افراد دیابتی محسوب می‌شوند. پژوهش‌ها هم چنین نشان داده‌اند که میوه‌های خشک مانند گردو و پسته حاوی ترکیباتی هستند که خطر نیاز به جراحی کیسه صفرا و ابتلا به سرطان مثانه را کاهش می‌دهند (Barreca et al., 2016; Masoudi and Ojani., 2024). محدودیت‌های اصلی درمان‌های ضدسرطان، مانند شاخص درمانی پایین و مقاومت به شیمی‌درمانی و پرتودرمانی، باعث شده است که تمایل به استفاده از محصولات طبیعی با عوارض جانبی کمتر به یک راهکار امیدوارکننده تبدیل شود. به همین دلیل، جداسازی ترکیبات زیست‌فعال گیاهی اهمیت زیادی یافته است(Ojani et al., 2023; Ojani et al., 2024) . بسیاری از این ترکیبات دارای خواص ضدسرطانی هستند(Mozafarian et al., 2017; Kaur et al., 2003; Amaral et al., 2004). اگرچه درمان‌های مرسوم مؤثر هستند، اما نیاز به توسعه داروهای جدید از منابع طبیعی برای کاهش عوارض جانبی داروهای شیمیایی وجود دارد. این امر محققان را به بررسی گیاهان مختلف با خواص درمانی گوناگون، از جمله ضدسرطانی، ضددیابت و ضدمیکروبی، سوق داده است (Pereira et al., 2007; Suksomboon et al., 2011; Mohammadi et al., 2008; Mohammadi et al., 2012; Ebrahimi et al., 2019)..

نانوفناوری یک فناوری نوین است که امکان پردازش ذرات در اندازه‌های ۱ تا ۱۰۰ نانومتر را فراهم می‌کند. این فناوری کاربردهای گسترده‌ای در پزشکی، دندانپزشکی، سیستم‌های دارورسانی، محیط زیست و مهندسی دارد. نانوذرات نقره به دلیل پایداری شیمیایی، رسانایی و فعالیت‌های کاتالیزوری و ضدباکتریایی، از اهمیت بالایی برخوردارند. در مقایسه با سایر عناصر، نقره دارای اثر ضدمیکروبی بیشتری با حداقل سمیت است. نانوذرات نقره را می‌توان با روش‌های مختلفی مانند شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی سنتز کرد. رایج‌ترین روش، سنتز بیولوژیکی یا سنتز سبز است که به دلیل سازگاری با محیط زیست، صرفه‌جویی در انرژی، هزینه کمتر، تولید ضایعات کمتر، مقیاس‌پذیری آسان و عدم استفاده از مواد شیمیایی سمی، ارجحیت دارد (Montazeri and Ojani, 2018; Ojani, 2015). در این روش، از گیاهان، باکتری‌ها، کپک‌ها، مخمرها و جلبک‌ها به عنوان عوامل کاهنده و تثبیت‌کننده استفاده می‌شود. نانوذرات فلزی مانند طلا، نقره و سلنیوم که با سنتز سبز تهیه می‌شوند، در کاربردهای ضدمیکروبی، جداسازی ترکیبات سمی، حسگرهای زیستی و تصفیه محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند(Ojani et al., 2025) .

با توجه به مصرف گردو، پوسته داخلی آن به عنوان یک ضایعه با ترکیبات گیاهی ارزشمند باقی می‌ماند. تحقیقات تجربی نشان می‌دهد که نانوذرات نقره سنتز شده با استفاده از ضایعات گردو، جذب حداکثری را در طول موج ۴۶۰ نانومتر با اندازه ۴۶ تا ۵۱ نانومتر نشان داده‌اند و آنزیم اوره‌آز را به میزان ۱/۳۰±۸۲/۱۶ درصد مهار کرده‌اند. این نانوذرات دارای پتانسیل ضدمیکروبی و آنتی‌اکسیدانی هستند که می‌توانند در کاربردهای مختلف بهداشتی مورد استفاده قرار گیرند (Can, and Keskin, 2025).

اکثر مطالعات نشان داده‌اند که گردو دارای فعالیت‌های دارویی قابل توجهی در درمان بیماری‌های مزمن شدید از جمله سرطان است، که عمدتا به دلیل وجود ترکیبات زیست‌فعال مانند ترکیبات فنولیک، فلاونوئیدها، آلکالوئیدها، کینون‌ها، پروتئین‌ها و اسیدهای چرب ضروری است. عصاره گردو حاوی ماده مؤثره الاژیتانین‌ها

است کـه خـواص ضدسـرطانی و ضدالتهـابی دارنـد (Qing et al., 2015; Meshkini et al., 2017)). در نهایـت، بـا توجه بـه خـواص زیسـتی متعـدد گـردو و اهمیـت آن، پژوهـش حاضـر بـه بـررسی مـروری بـر ترکیبـات فیتوشیمیـایی و خـواص درمـانی گـردو *Juglans regia* L. مطالعـه مـوردی: اسـتان کرمـان می‌پـردازد.

مواد و روش ها

در ایـن بـررسی بـه صـورت مـروری بـا اسـتفاده از کلمـات کلیـدی *Juglans regia* L.، ترکیبـات فیتوشیمیـایی، فعالیت‌های آنتی‌اکسیـدانی و سـرطان، جسـتجو در پایـگاه هـای معتبـر داخـلی ماننـد (SID ، Magiran و Civilica) و خـارجی ماننـد (PubMed ، Scopus ، Science Direct ، Web of Science و Google Scholar) انجام شد.

نتایج و بحث

گـردو یـکی از پرمصرف‌تریـن آجیل‌هـای درخـتی در جهـان اسـت کـه سال‌هاسـت بـه عنـوان غـذایی غـنی از مـواد مغـذی مـورد اسـتفاده قـرار می‌گیـرد (Gao et al., 2020). در سـطح جهـانی، گـردو پـس از بـادام، در تولیـد خشـکبار رتبـه دوم را دارد و کشـورهای چیـن، آمریـکا و ایـران بـه ترتیـب بزرگ‌تریـن تولیدکننـدگان ایـن محصـول هسـتند (Taghiadeh et al., 2020). فوایـد تغذیـه‌ای و فیزیولوژیـکی گـردو باعـث افزایـش تقاضـا بـرای آن شـده اسـت. مطالعـات متعـدد نشـان داده‌انـد کـه گیاهـان خانـوادهJuglandaceae حـاوی ترکیبـات ارزشـمندی ماننـد آلکالوئیدهـا، فلاونوئیدهـا و ترپنوئیدهـا هسـتند. سـازمان خواربـار و کشـاورزی ملـل متحـد (FAO) گـردو را بـه دلیـل ارزش تغذیـه‌ای و فوایـد بهداشـتی، بـه عنـوان یـکی از ده محصـول غـذایی برتـر معـرفی کـرده اسـت.

گـردو یـکی از غنی‌تریـن منابـع طبیـعی اسیدهـای چـرب غیراشـباع اسـت. آلفـا لینولنیـک اسیـد، بـه عنـوان یـک اسیـد چـرب امـگا ۳، بـا کاهـش کلسـترول LDL و افزایـش کلسـترول HDL، بـه بهبـود سلامـت قلـب و عـروق و کاهـش التهـاب کمـک می‌کنـد. هـم چنیـن، فیتواسـترول‌های موجـود در گـردو بـا مهـار جـذب کلسـترول در دسـتگاه گـوارش، بـه کاهـش سـطح کلسـترول خـون کمـک می‌کننـد (Jahanbani et al., 2016). تحقیقـات در ایـران نشـان داده اسـت کـه ترکیـب اسیدهـای چـرب گـردو تحـت تأثیـر رقـم، اقلیـم و ارتفـاع محـل کشـت قـرار دارد. بـه عنـوان مثـال، مناطـق سـردسیری ماننـد قزویـن نسـبت بالاتـری از لینولئیـک اسیـد بـه اولئیـک اسیـد را نشـان می‌دهنـد، در حـالی کـه مناطـق گرم‌تـری ماننـد کرمـان و رفسـنجان نسـبت بالاتـری از اولئیـک اسیـد دارنـد. ایـن تفاوت‌هـا بـر ارزش تغذیـه‌ای و مانـدگاری محصـول تأثیرگـذار اسـت (Roozban et al., 2006).

گـردو یـک محصـول چندمنظـوره اسـت کـه بخش‌هـای مختلـف آن کاربردهـای متنـوعی دارنـد. بـرای مثـال، درختـان گـردو منبـع مهـمی بـرای صنعـت مبلمـان هسـتند. میوه‌هـای نـارس گـردو قبـل از سـفت شـدن پوسـته در صنایـع غـذایی و دارویی اسـتفاده می‌شـوند و برگ‌هـا، پوسـته‌ها و ریشـه‌های آن در صنعـت رنگ‌سـازی کاربـرد دارنـد. روغـن گـردو نیـز محصـولی پرطرفـدار در فنـاوری و نقـاشی اسـت. ایـن روغـن یـکی از منابـع ارزشـمند لیپیدهـای گیـاهی اسـت کـه بـه دلیـل غـنی بـودن از اسیدهـای چـرب ضـروری، به‌ویـژه اسیدهـای چـرب غیـر اشـباع ماننـد لینولئیـک اسیـد و آلفـا لینولنیـک اسیـد، جایـگاه ویـژه‌ای در تغذیـه و سلامـت انسـان دارد. ایـن روغـن هـم چنیـن سرشـار از ترکیبـات فعـال زیسـتی ماننـد توکوفرول‌هـا و اسـترول‌های گیـاهی اسـت کـه خـواص آنتی‌اکسیـدانی و ضدالتهـابی آن را تقویـت می‌کننـد.(Hosseini, Adarmanabadi et al., 2023) گـردو فعالیت‌هـای مهـاری استیل‌کولین‌اسـتراز، بوتیریل‌کولین‌اسـتراز و اوره‌آز را نیـز نشـان داده اسـت.(Bayazit et al., 2016) . از مـواد معـدنی قابـل توجـه در گـردو می‌تـوان بـه منگنـز، فسـفر، پتاسیـم، منیزیـم و کلسیـم اشـاره کـرد کـه همـگی نقـش حیـاتی در بهبـود سلامـت قلـب، عملکـرد متابولیـک و سـایر فرآیندهـای بـدن ایفـا می‌کننـد (Bakkalbaşı et al., 2012; Bowman., 2011). بـرای مثـال، منیزیـم موجـود در گـردو بـرای

تنظیم فشار خون، سلامت استخوان‌ها و عملکرد اعصاب ضروری است. پتاسیم، که سومین ماده معدنی فراوان در بدن است، به عنوان یک الکترولیت عمل می‌کند و برای حفظ سلامت قلب، مغز، کلیه و عضلات مورد نیاز است (Alaviani et al., 2012).

علاوه بر این، آهن و مس موجود در گردو برای تشکیل گلبول‌های قرمز خون ضروری هستند. منگنز با تنظیم متابولیسم کربوهیدرات‌ها و تقویت سلامت استخوان‌ها، به پیشگیری از بیماری‌های عصبی کمک می‌کند. سلنیوم، یک عنصر کمیاب ضروری است که باید از طریق رژیم غذایی تأمین شود، زیرا بدن انسان قادر به تولید فرم فیزیولوژیکی آن نیست (Zhang et al., 2022). سیستم‌های آنزیمی آنتی‌اکسیدانی مهمی که به عنوان سلنوپروتئین‌ها شناخته می‌شوند، زمانی تشکیل می‌شوند که سلنیوم با سیستئین ترکیب شود. سطوح پایین‌تر سلنوپروتئین‌ها با کاهش مقاومت در برابر گونه‌های فعال اکسیژن هم بستگی مثبت دارند. یکی از مهم‌ترین عملکردهای سلنیوم، جلوگیری از آسیب اکسیداتیو به DNA و RNA است (Tomer et al., 2020).

پپتیدهای پروتئینی گردو علاوه بر تأمین اسیدهای آمینه، دارای فعالیت‌های زیستی بی‌شماری مانند خواص ضدسرطانی، ضدالتهابی و کاهنده فشار خون هستند. اسیدهای آمینه موجود در گردو مانند آرژنین و گلوتامیک اسید باعث تقویت سیستم ایمنی و تنظیم هورمون‌ها می‌شوند. به همین دلیل، گردو به عنوان یک منبع پروتئین گیاهی جایگزین برای کاهش وابستگی به پروتئین‌های حیوانی پیشنهاد می‌شود که از نظر تغذیه‌ای و محیط زیستی نیز اهمیت بسزایی دارد(Ding and Li., 2021; Courtney-Martin et al., 2016; López et al., 2018). فیبر و چربی‌های غیراشباع موجود در گردو با ایجاد احساس سیری طولانی‌مدت، به کنترل وزن و پیشگیری از چاقی کمک می‌کنند. علاوه بر این، مصرف گردو حساسیت به انسولین را بهبود بخشیده و به تنظیم سطح گلوکز خون کمک می‌کند. مطالعات نشان داده‌اند که گردو مقاومت به انسولین را کاهش داده و عملکرد سلول‌های بتا پانکراس را، به ویژه در افراد مبتلا به دیابت نوع ۲، تقویت می‌کند (Jardim et al., 2023; Liu et al., 2021; Vahdati et al., 2023).

پلی‌فنول‌ها و اسیدهای چرب امگا ۳ موجود در گردو به بهبود عملکرد مغز و حافظه کمک کرده و نقش مهمی در پیشگیری از اختلالات شناختی مانند آلزایمر ایفا می‌کنند. این ترکیبات با کاهش التهاب و استرس اکسیداتیو، از سلول‌های عصبی محافظت کرده و کارکردهای شناختی را بهبود می بخشند (Asadi-Shekaari et al., 2014).

در مجموع یافته‌های این بررسی بر ظرفیت آنتی‌اکسیدانی استثنایی گردو تأکید می‌کند که این ویژگی عمدتا به دلیل غلظت بالای ترکیبات فنولیک در تمامی بخش‌های گیاه، از جمله مغز، پوسته، برگ و ریشه است. این ترکیبات با خنثی‌سازی رادیکال‌های آزاد، از آسیب‌های اکسیداتیو به مولکول‌های حیاتی مانند DNA جلوگیری می‌کنند. این مکانیسم بنیادی، پایه و اساس اثرات ضدسرطانی گردو را تشکیل می‌دهد. علاوه بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، مطالعات آزمایشگاهی نشان داده‌اند که عصاره‌های گردو می‌توانند رشد سلول‌های سرطانی را از طریق مکانیسم‌های پیچیده‌تری مانند القای آپوپتوز (مرگ برنامه‌ریزی‌شده سلولی) و مهار مسیرهای سیگنال‌دهی دخیل در تکثیر سلول‌های سرطانی، مهار کنند. با این حال، با وجود شواهد آزمایشگاهی، نیاز به انجام آزمایش‌های بالینی کنترل شده برای تأیید این اثرات در انسان و تعیین دوزهای درمانی مؤثر، همچنان یک چالش بزرگ است. بسیاری از ترکیبات زیست فعال گردو، مانند ماده موثره ژوگلون، تانن‌ها و فلاونوئیدها، علاوه بر خواص ضد سرطانی، دارای خواص ضد میکروبی، ضد التهابی و ضد دیابتی نیز هستند. در عصر افزایش مقاومت آنتی‌بیوتیکی، این ترکیبات طبیعی می‌توانند جایگزین‌های مؤثری برای داروهای شیمیایی با عوارض جانبی کمتر باشند. هم چنین تحقیقات اخیر در زمینه سنتز سبز نانوذرات با استفاده از ضایعات گردو (به‌ویژه پوسته داخلی) نیز چشم‌اندازهای جدیدی را برای استفاده بهینه از این منابع گیاهی فراهم کرده است. نانوذرات سنتز شده به این روش، علاوه بر فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی و ضد میکروبی، در کاربردهای زیست‌پزشکی، مانند سیستم‌های دارورسانی هدفمند، نیز پتانسیل بالایی دارند. با توجه به خواص دارویی متعدد و ترکیبات فیتوشیمیایی گوناگون، گردو به عنوان یک منبع غنی و سودمند برای سلامت انسان تأیید شده است.

نتیجه گیری

داده‌های مطالعات پیشین نشان می‌دهند که این ترکیبات مؤثر می‌توانند خطر ابتلا به بیماری‌های مزمن مانند فشار خون بالا، دیابت و سرطان را کاهش دهند. از این رو، برای توسعه جایگزین‌های درمانی طبیعی و مؤثر، به ویژه در برابر مشکلات سلامتی مهم، انجام تحقیقات و آزمایش‌های بالینی بیشتری برای شناسایی دقیق‌تر مکانیسم‌های مولکولی و دوزهای مؤثر و هم چنین شناخت مسیرهای اطلاعاتی و ژن‌های مرتبط توصیه می‌شود. بنابراین، با در نظر گرفتن تنوع ژنتیکی و اقلیمی، بررسی دقیق‌تر خواص گردوهای بومی استان کرمان می‌تواند به شناسایی ارقامی با ویژگی‌های درمانی منحصربه‌فرد منجر شود و زمینه را برای توسعه محصولات دارویی و غذایی جدید بر پایه این گنجینه طبیعی فراهم سازد.

سپاس گزاری

نویسندگان مقاله، بدین وسیله مراتب سپاس و قدردانی خالصانه خود را از حمایت‌های حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی - واحد رفسنجان، ابراز می‌دارند.

1. Anderson, K.J., Teuber, S.S., Gobeille, A., Cremin, P., Waterhouse, A.L. and Steinberg, F.M. 2001. Walnut polyphenolics inhibit in vitro human plasma and LDL oxidation. Journal of Nutrition, 131(10): 2837-2842.
2. Alaviani, S., Mahmoudyar, F., Miraftabi, F., Salehisormghi, M.H. and Qomi, M. 2012. Determination of Iranian Almond, Peanut and Hazelnut Mineral Contents. Journal of Basic and Applied Chemistry, 2(1): 50-54.
3. Amaral, J.S., Seabra, R.M., Andrade, P.B., Valentao, P., Pereira, J.A. and Ferreres, F. 2004. Phenolic profile in the quality control of walnut (*Juglans regia* L.) leaves. Food Chemistry, 88(3): 373-379.
4. Asadi-Shekaari, M., Eslami, A., Kalantaripour, T. and Joukar, S. 2014. Potential mechanisms involved in the anticonvulsant effect of walnut extract on pentylenetetrazole-induced seizure. Medical Principles and Practice, 23(6): 538-542.
5. Bakkalbaşı, E., Yılmaz, Ö.M., Javidipour, I. and Artık, N. 2012. Effects of packaging materials, storage conditions and variety on oxidative stability of shelled walnuts. LWT-Food Science and Technology, 46(1): 203-209.
6. Basri, A.M., Hussein, T. and Norhayati, A. 2017. A review on the pharmacological activities and phytochemicals of *Alpinia officinarum* (Galangal) extracts derived from bioassay-guided fractionation and isolation. Pharmacognosy Reviews, 11(21): 43-56. https://doi.org/10.4103/phrev.phrev-55-16.
7. Balu, M., Essa, M.M., Lee, M., Chauhan, V., Kaur, K. and Chauhan, A. 2014. Dietary supplementation of walnuts improves memory deficits and learning skills in transgenic mouse model of Alzheimer's disease. Journal of Alzheimer's Disease, 42(4): 1397-1405. https://doi.org/10.3233/JAD-140675.
8. Bayazit, S., Tefek, H. and Çalışkan, O. 2016. Türkiye'de ceviz (*Juglans regia* L.) araştırmaları. Ziraat Fakültesi Dergisi, 11(1): 169–179.
9. Bernard, A., Crabier, J., Donkpegan, A.S.L., Marrano, A., Lheureux, F. and Dirlewanger, E. 2021. Genome-wide association study reveals candidate genes involved in fruit trait variation in Persian walnut (*Juglans regia* L.). Frontiers in Plant Science, 11: 607213. https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607213.
10. Bowman, A.B., Kwakye, G.F., Hernández, E.H. and Aschner, M. 2011. Role of manganese in neurodegenerative diseases. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, 25(4): 191-203.
11. Can, M. and Keskin, M. 2025. Green synthesis, characterization and biochemical properties of waste walnut (*Juglans regia* L.) inner shell-based silver nanoparticles. Journal of the Serbian Chemical Society, 90(1): 123–135.
12. Claudia, V.G.O., Solange, M.T.P.G., Carneiro, M.T., Iamauti, M.D.P., Lilian Amorim, R.D., Berger, A. and Bergamin, F. 1997. Diagrammatic scales for bean diseases: development and

validation. Journal of Plant Diseases and Protection, 104(4): 336-345.
13. Cosmulescu, S. and Trandafir, I. 2011. Seasonal variation of total phenols in leaves of walnut (*Juglans regia* L.). Journal of Medicinal Plants Research, 5(19): 4938–4942.
14. Courtney-Martin, G., Ball, R.O., Pencharz, P.B. and Elango, R. 2016. Protein requirements during aging. Nutrients, 8(8): 492.
15. Ding, T. and Li, Y. 2021. Beneficial effect and mechanism of walnut oligopeptide on Lactobacillus plantarum Z7. Food Science & Nutrition, 9(2): 672-681.
16. Denyer, S.P. and Stewart, G.S.A.B. 1998. Mechanisms of action of disinfectants. International Biodeterioration & Biodegradation, 41(3-4): 261-268.
17. Delaviz, H., Mohammadi, J., Ghalamfarsa, G., Mohammadi, B. and Farhadi, N. 2017. A review study on phytochemistry and pharmacology applications of *Juglans regia* plant. Pharmacognosy Reviews, 11(22): 145-152. https://doi.org/10.4103/phrev.phrev-10-17.
18. Ding, Y.M., Cao, Y., Zhang, W.P., Chen, J., Liu, J., Li, P., Renner, S.S., Zhang, D.Y. and Bai, W. N. 2022. Population-genomic analyses reveal bottlenecks and asymmetric introgression from Persian into iron walnut during domestication. Genome Biology, 23: 145. https://doi.org/10.1186/s13059-022-02720-z.
19. Ebrahimi, Y., Hasanvand, A., Safarabadi, A.M. Sepahvand, H. Moghadasi, M. and Abbaszadeh, S. 2019. A review of the most important herbal drugs effective in chest pain due to cardiac disease. Anaesthesia, Pain & Intensive Care, 23(1): 1-10. https://doi.org/10.15419/bmrat.v5i8.463.
20. FAO. 2017. FAOSTAT database results. [Online] Available at: http://faostat.Fao.org.faostat.Servlet.
21. FAOSTAT. 2025. FAOSTAT data. [Online] Available at: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize.
22. Qadan, F., Thewaini, A.J., Ali, D.A., Afifi, R., Elkhawad, A. and Matalka, K.Z. 2005. The antimicrobial activities of Psidium guajava and *Juglans regia* L. leaf extracts to acne-developing organisms. The American Journal of Chinese Medicine, 33(2): 197-204. https://doi.org/10.1142/S0192415X05002783.
23. Gao, Y., Hu, J., Su, X. Li, Q. Su, C. Li, Y. Ma, G. Zhang, S. and Yu, X. 2020. Extraction, chemical components, bioactive functions and adulteration identification of walnut oils: A review. Grain & Oil Science and Technology, 7: 30-41.
24. Gupta, A., Behl, T. and Panichayupakaranan, P. 2019. A review of phytochemistry and pharmacology profile of *Juglans regia*. Obesity Medicine, 16: 100142. https://doi.org/10.1016/j.obmed.2019.100142.
25. Girzu, M., Carnat, A., Privat, A.M. Fialip, J., Carnat, A-P. and Lamaison, J-L.1998. Sedative effect of walnut leaf extract and juglone, an isolated constituent. Pharmaceutical Biology, 36(4): 280-286. https://doi.org/10.1076/phbi.36.4.280.4580.
26. Hosseini Adarmanabadi, S.M.H., Karami Gilavand, H., Taherkhani, A., Sadat Rafiei, S.K., Shahrokhi, M., Faaliat, S., Biabani, M., Abil, E., Ansari, A., Sheikh, Z., Poudineh, M., Khalaji, A., ShojaeiBaghini, M., Koorangi, A. and Deravi, N. 2023. Pharmacotherapeutic potential of walnut (*Juglans* spp.) in age-related neurological disorders. IBRO Neuroscience Reports, 14: 1-20. https://doi.org/10.1016/j.ibneur.2022.10.015.
27. Jaradat, N.A. 2005. Medical plants utilized in Palestinian folk medicine for treatment of diabetes

mellitus and cardiac diseases. AlAqsa University Journal (Natural Sciences Series), 9(1): 1-28.

28. Jahanbani, R., Ghaffari, S.M., Salami, M., Vahdati, K., Sepehri, H., Sarvestani, N.N., Sheibani, N. and Moosavi-Movahedi, A.A. 2016. Antioxidant and anticancer activities of walnut (*Juglans regia* L.) protein hydrolysates using different proteases. Plant Foods for Human Nutrition, 71(4): 402-409.
29. Jardim, T., Domingues, M.R.M. and Alves, E. 2023. An overview on lipids in nuts and oily fruits: oil content, lipid composition, health effects, lipidomic fingerprinting and new biotechnological applications of their by-products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(14): 1-29.
30. Kaileh, M., Vanden Berghe, W., Boone, E., Essawi, T. and Haegeman, G. 2007. Screening of indigenous Palestinian medicinal plants for potential anti-inflammatory and cytotoxic activity. Journal of Ethnopharmacology, 113(3): 510-516.
31. Kaur, K., Michael, H., Arora, S., Härkönen, P. L. and Kumar, S. 2003. Studies on correlation of antimutagenic and antiproliferative activities of *Juglans regia* L. Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology, 22(1): 59–67. https://doi.org/10.1615/JEnvPathToxOncol.v22.i1.60.
32. López, D. N., Galante, M., Robson, M., Boeris, V. and Spelzini, D. 2018. Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties. International Journal of Biological Macromolecules, 109: 152-159.
33. Liu, X., Guasch-Ferré, M., Tobias, D.K. and Li, Y. 2021. Association of walnut consumption with total and cause-specific mortality and life expectancy in US adults. Nutrients, 13(8): 2699.
34. Martínez, M.L., Diana, O.L., Alicia, L.L. and Damian, M.M. 2010. Walnut (*Juglans regia* L.): genetic resources, chemistry, by-products. Journal of the Science of Food and Agriculture, 90(11): 1959-1967. https://doi.org/10.1002/jsfa.4059.
35. Masoudi, M. and Ojani, S. 2024. Investigating the Biological Properties of *Pistacia vera* as the Most Popular Nut. Journal of Applied Researchers in Nuts, 1(1): 12-25. (In Persian).
36. McGranahan, G.H. and Leslie, C. 1998. In-vitro propagation of mature Persian walnut cultivars. HortScience, 23(1): 220-224.
37. Mir, F.H., Tanveer, S. and Para, B.A. 2024. Evaluation of anthelmintic efficacy of ethanolic leaf extract of *Juglans regia* L. on Ascaridia galli: a comprehensive in vitro and in vivo study. Veterinary Research Communications, 48(4): 2321–2330. https://doi.org/10.1007/s11259-024-10411-2.
38. Meshkini, A. and Tahmasbi, M. 2017. Antiplatelet aggregation activity of walnut hull extract via suppression of reactive oxygen species generation and caspase activation. Journal of Acupuncture and Meridian Studies, 10(3): 193-203. https://doi.org/10.1016/j.jams.2017.02.007.
39. Mozafarian, V. 2012. Walnut tree. In: Identification of medicinal and aromatic plants of Iran. Tehran: Farhang Moaser Press, pp. 473-475.
40. Mohammadi, J. and Naik, P.R. 2008. Antidiabetic effects of Morus alba in experimentally induced diabetes in Wistar rat. Biomedicine, 28(2): 112-116.
41. Mohammadi, J. and Naik, P.R. 2012. The histopathologic effects of Morus alba leaf extract on the pancreas of diabetic rats. Turkish Journal of Biology, 36(2): 211-216.
42. Montazeri, N. and Ojani, S.H. 2018. Application of catalysts in the synthesis of heterocyclic

compounds. Islamic Azad University (Tonekabon) Publications. (In Persian).

43. Noumi, E., Snoussi, M., Hajlaoui, H., Valentin, E. and Bakhrouf, A. 2010. Antifungal properties of Salvadora persica and *Juglans regia* L. extracts against oral Candida strains. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases, 29(1): 81-88. https://doi.org/10.1007/s10096-009-0824-3.
44. Ojani, S. 2015. Quantitative and qualitative study of the essential oil and alcoholic extract of the *Polylophium involucratum* (Pall.) Boiss. harvested in the highlands of Ramsar using microwave irradiation and its use to synthesis of silver nanoparticles. M.Sc. Thesis. Islamic Azad University, Tonekabon Branch. (In Persian).
45. Ojani, S., Montazeri, N., Mohammadi Zeydi, M. and Ghane, M. 2023. Phytochemical examination of the hydroalcoholic extract of *Polylophium involucratum* (Pall.) Boiss. harvested from the heights of the Javaherdeh - Ramsar and determination of its cytotoxic effects on chronic myeloid leukemia. Iranian Journal of Biological Sciences, 18: 49-62. (In Persian).
46. Ojani, S., Montazeri, N., Mohammadi Zeydi, M. and Ghane, M. 2024. Investigation of Antioxidant, Antibacterial, and Cytotoxic Effects of the Hydroalcoholic Extract of Seeds of *Polylophium involucratum* (Pall.) Boiss. on the Cell Line of Anaplastic Thyroid Cancer. National Congress on Medical Biology, 14(56): 83-94. (In Persian).
47. Ojani, S., Montazeri, N., Mohammadi Zeydi, M. and Ghane, M. 2025. A Novel Assessment of *In Vitro* Cytotoxicity Efficacy of Phytosynthesized Selenium Nanoparticles Using *Polylophium involucratum* (Pall.) Boiss. Seeds Extract on 8305C Cell Lines. Pharmaceutical Chemistry Journal, 58(11): 1-10. https://doi.org/10.1007/s11094-025-03321-3.
48. Pereira, J.A., Oliveira, I., Sousa, A., Valentão, P., Andrade, P B., Ferreira, I C., Ferreres, F., Bento, A., Seabra, R. and Estevinho, L. 2007. Walnut (*Juglans regia* L.) leaves: phenolic compounds, antibacterial activity and antioxidant potential of different cultivars. Food and Chemical Toxicology, 45(11): 2287–2295. https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.06.004.
49. Pourshamsian, K. and Ojani, S. 2016. Phytochemical screening of the aqueous extract of seeds of *Polylophium involucratum* (Pall.) Boiss. from Ramsar-Iran. Planta Medica, 82(5): 62.
50. Qing, P., Li, X. L., Zhang, Y., Li, Y. L., Xu, R. X., Guo, Y. L., Li, S., Wu, N. Q. and Li, J. J. 2015. Association of Big Endothelin-1 with Coronary Artery Calcification. PLoS ONE, 10(11): e0142458. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142458.
51. Roozban, M.R., Mohamadi, N. and Vahdati, K. 2006. Fat content and fatty acid composition of four Iranian pistachio varieties grown in Iran. Acta Horticulturae, 726: 573-577.
52. Salehi Shanjani, P. , Dadmand, M. , Seyedian, S. E. , Rasoulzadeh, L. , Falah Hoseini, L. , Ramazani Yeganeh, M. , Amirkhani, M. and Pahlevani, M.R. 2021. Investigation of genetic diversity of *Juglans regia* using quantitative and qualitative growth traits. Journal of Forest and Wood Product, 74(2): 209-221. https://doi.org/10.22059/JFWP.2021.312071.1134. (In Persian).
53. Stampar, F., Solar, A., Hudina, M. Veberic, R. and Colaric, M. 2006. Traditional walnut liqueur–cocktail of phenolics. Food Chemistry, 95(4): 627-631. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.01.035.
54. Subhan, S. and Bagchi, M. (eds.). 2017. Phytopharmaceuticals for Brain Health. CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781315152998.
55. Suksomboon, N., Poolsup, N., Boonkaew, S. and Suthisisang, C.C. 2011. Meta-analysis of the

effect of herbal supplement on glycemic control in type 2 diabetes. Journal of Ethnopharmacology, 137(3): 1328–1333. https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.07.059.
56. Taghizadeh, S.F., Rezaee, R., Badibostan, H. and Karimi, G. 2020. Probabilistic carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of heavy metal ingestion through consumption of different walnut cultivars: An Iranian study. Environmental Monitoring and Assessment, 192: 599.
57. Tomer, V., Kumar, A., Gupta, K. and Shukla, S. 2020. Walnut: In antioxidants in vegetables and nuts - properties and health benefits. Springer Singapore, pp. 385–422. https://doi.org/10.1007/978-981-15-7470-2_20.
58. Valko, M., Leibfritz, D., Moncol, J., Cronin, M. T., Mazur, M. and Telser, J. 2007. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 39(1): 44-84. https://doi.org/10.1016/j.biocel.2006.07.001.
59. Vahdati, K., Sheikhi, A., Arab, M.M. and Sarikhani, S. 2023. Cultivars and genetic improvement. In: Mir, M.M., Rehman, M.U., Iqbal, U., Mir, S.A. (Eds.), Temperate Nuts. Springer, Singapore, pp. 1-20.
60. Wilms, L.C., Hollman, P.C., Boots, A.W. and Kleinjans, J.C. 2005. Protection by quercetin and quercetin-rich fruit juice against induction of oxidative DNA damage and formation of BP-DE-DNA adducts in human lymphocytes. Mutation Research, 582(1-2): 155-162.
61. Wambulwa, M. C., Fan, P. Z., Milne, R., Wu, Z. Y., Luo, Y. H., Wang, Y. H., Wang, H., Gao, L. M., Xiahou, Z. Y., Jin, Y. C., Ye, L. J., Xu, Z. C., Yang, Z. C., Li, D. Z. and Liu, J. 2022. Genetic analysis of walnut cultivars from southwest China: Implications for germplasm improvement. Plant Diversity, 44(5): 530–541. https://doi.org/10.1016/j.pld.2021.08.005.
62. Wijngaard, H. and Brunton, C. 2009. Survey of Irish fruit and vegetable waste and by-products as a source of polyphenolic antioxidants. Food Chemistry, 116(1): 202-207.
63. Zhang, S., Zheng, H., Zhang, R. Shi, M., Ren, R., Cheng, S. and Dun, C. 2022. Extraction optimization and antioxidant activity evaluation of se-enriched walnut proteins. Journal of Food Processing and Preservation, 46(7): e16719. https://doi.org/10.1111/jfpp.16719.
64. Zakavi, F., Golpasand Hagh, L., Daraeighadikolaei, A., Farajzadeh Sheikh, A., Daraeighadikolaei, A. and Leilavi Shooshtari, Z. 2013. Antibacterial Effect of *Juglans Regia* Bark against Oral Pathologic Bacteria. International Journal of Dentistry, 2013: 854765. https://doi.org/10.1155/2013/854765.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

Analysis of the global market for pistachio production and export and evaluation of changes in the comparative advantage of Iranian pistachio exports

Seyed Mohammad Reza Hosseinipour*

Department of Economics, Raf. C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran

*Corresponding Author E-mail: mo.hosseinipour@iau.ac.ir

Recieved:2025/8/24 Accepted:2025/9/17

Abstract

One of the priorities of the Iranian economy has been to increase the share of non-oil exports and replace it with oil exports. Exports of agricultural products play a major role in non-oil exports, and pistachios are of particular importance. In the present study, after examining and analyzing the status of pistachio production and exports in Iran and other countries, the comparative advantage of pistachio exports during the period 2008-2023 was calculated and analyzed. For this purpose, two indices of concentration ratios and Herfindahl-Hirschman (HHI) were used to find Iran's market power, and to examine the export advantage of pistachios among other agricultural products, the revealed comparative advantage (RCA) and revealed symmetrical comparative advantage (RSCA) indices were used. The results showed that Iran's share of global production and exports has been declining during the period under review. In the last few years, it has lost its position as the largest pistachio exporter and has given its place to the United States. Regarding the calculation of the comparative advantage index, the results indicate the existence of comparative export advantages for Iran, the United States, and Turkey. It was also seen that the comparative advantage index of the United States and Turkey has grown significantly in recent years. Despite the high comparative advantage that exists in Iran in terms of pistachio exports, the situation of pistachio production in Iran is not in a favorable trend, and it seems that if no solution is found to increase the area under cultivation or the production yield of this product, in the coming years Turkey, like the United States, will take Iran's place in the field of pistachio production and export.

Keywords: Pistachio, production, export, market structure

Published by Islamic Azad University, Rafsanjan .This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Extended Abstract

Introduction

The agricultural sector is one of the most important economic sectors in developing countries, which, in addition to ensuring food security, plays an effective role in the country's economic development and non-oil exports. Iran is no exception to this rule, and the agricultural sector is of particular importance in it. This sector has always played a significant role in non-oil exports. Among the agricultural sector's export products, pistachios have a special place. The salient features of this product include employment generation combined with appropriate income, desertification, and most importantly, earning significant foreign exchange earnings. Pistachio has gradually emerged as an important commercial and export commodity in the last half century. In recent years, Iranian pistachio has gained a special place in the country's non-oil exports, so that after handmade carpets, it is considered the country's second major export commodity. In this regard, a significant share of the production of cultivated area, quantity, and value of global exports belongs to Iran. According to a study conducted by Mohammadi and Bahrami Nasab in 2013, in the years 2000 to 2010, the average pistachio production in Iran was 294,199 tons and the average export of this product was 139,670 tons, which means that Iran's export share of pistachio production was about 48%. In other words, about half of the pistachios produced in the country were exported to global markets. Although numerous studies have been conducted on pistachios, it is necessary to review and re-analyze the market situation of various products every few years.

Materials and Methods

In the present study, after examining and analyzing the status of pistachio production and exports in Iran and other countries, the comparative advantage of pistachio exports during the period 2008-2023 was calculated and analyzed. For this purpose, two indices of concentration ratios and Herfindahl-Hirschman (HHI) were used to find Iran's market power, and to examine the export advantage of pistachios among other agricultural products, the revealed comparative advantage (RCA) and revealed symmetrical comparative advantage (RSCA) indices were used. Also, the Hillman index was used to measure the existence of the necessary conditions for using comparative advantage indices.

Results and Discussions

The results of the study showed that the trend of pistachio production in the period under review was upward, but Iran's share of global production was almost constant at 31 percent. Statistics also indicate that the United States has experienced a very high production growth during this period and has increased its production share from 24 percent to 47 percent. According to statistics on the area under pistachio cultivation in Iran, it can be seen that during the 15 years under study, the area under pistachio cultivation has increased from 237 thousand hectares to 512 thousand hectares, increasing by 2.3 times, showing a growth of 116%. According to the statistics provided, the area under pistachio cultivation in the United States has grown by 291 percent during the period under study, and has almost quadrupled. During the same period, the area under cultivation in China has increased by 44 percent and the area under cultivation in Syria has only increased by 8 percent. What is noteworthy in these statistics is the stunning growth of the area under cultivation in Turkey. In this country, the area under pistachio cultivation has increased more than 10 times during these 15 years, showing a growth of 926 percent. The largest increase in cultivated area in this country occurred in 2018, when the cultivated area increased fivefold within one year, from 68,237 hectares in 2017 to 354,500 hectares in 2018.

The Herfindahl index calculated for the entire period is above 1800, indicating that the pistachio export market is a highly concentrated market. However, given that in recent years the amount of US exports has significantly exceeded Iran's exports, this concentration is in the hands of the United States.

Based on the calculations, the average RSCA index of Iran in the period under review was 0.97, indicating that Iran has a high comparative advantage in pistachio exports. Previous studies have also shown that Iran has always had a very high comparative advantage in exports in the years before the period under review. The average RSCA of the United States was also 0.56 in the period under review, indicating the existence of a comparative advantage in this country. Of course, as can be seen, the comparative advantage in the United States is gradually increasing. The RSCA index for this country has increased from 0.36 in 2008 to 0.74 in 2023. Turkey, like the United States, also has an increasing comparative advantage. Although the country faced a lack of comparative advantage in some years such as 2010, 2011 and 2014, it has been on a growing trend of comparative advantage since 2014, and in 2023, its RSCA index reached 0.67. China's comparative advantage index shows a reverse trend, as the country initially had a comparative advantage, but since 2020, it has lost its comparative export advantage.

Conclusion

Despite the high comparative advantage in pistachio exports in Iran, the situation of pistachio production in Iran is not in a favorable trend. It seems that if no solution is found to increase the cultivated area or the production yield of this product, in the coming years, Turkey will also take Iran's place in the field of pistachio production and export, just like the United States. Therefore, considering the low yield of pistachios in Iran, it is recommended to adopt policies in this regard so that farmers can produce with scientific methods and principles prevailing in other countries so that maximum use can be made of the capacities available in the country. Also, considering that a large part of Iran's export product is re-exported by other countries such as Germany and Hong Kong, it is recommended to provide facilities for investors in the field of marketing this product and performing marketing services such as packaging or establishing processing industries in this regard within the country, and to conduct extensive studies abroad to find more suitable markets for such marketing services.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

تحلیل بازار جهانی تولید و صادرات پسته و ارزیابی تغییرات مزیت نسبی صادراتی پسته ایران

سید محمد رضا حسینی پور*
گروه اقتصاد، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران
*نویسنده مسئول: mo.hosseinipour@iau.ac.ir

دریافت :۱۴۰۴/۶/۲ پذیرش :۱۴۰۴/۶/۲۶

چکیده

یکی از اولویت های اقتصاد ایران بالابردن سهم صادرات غیر نفتی و جایگزینی آن با صادرات نفتی بوده است. صادرات محصولات کشاورزی نقش عمدهای در صادرات غیر نفتی دارد و در این میان پسته دارای اهمیت ویژه ای می باشد. در پژوهش حاضر پس از بررسی و تحلیل وضعیت تولید و صادرات پسته در ایران و دیگر کشورها، مزیت نسبی صادراتی پسته طی دوره زمانی ۲۰۲۳- ۲۰۰۸ محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای این منظور جهت یافتن قدرت بازاری ایران از دو شاخص نسبت های تمرکز[1] و هرفیندال- هیرشمن[2] (HHI) و جهت بررسی مزیت صادراتی پسته در بین دیگر محصولات کشاورزی، از شاخص های مزیت نسبی آشکار شده[3] (RCA) و مزیت نسبی آشکارشده متقارن[4] (RSCA) استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که سهم ایران از تولید و صادرات جهانی در طول دوره مورد بررسی روندی کاهشی داشته است. به طوری که در چند سال اخیر جایگاه خود به عنوان بزرگ ترین صادرکننده پسته را از دست داده و جای خود را به کشور آمریکا داده است. در خصوص محاسبه شاخص مزیت نسبی نیز نتایج حاکی از وجود مزیت نسبی صادراتی برای کشورهای ایران، آمریکا و ترکیه می باشد. هم چنین دیده شد که شاخص مزیت نسبی کشورهای آمریکا و ترکیه در سالیان اخیر با رشد زیادی روبرو بوده است.

واژگان کلیدی: پسته، تولید، صادرات، ساختار بازار

1. Concentration Ratios
2 .Herfindahl–Hirschman Index
3 Revealed Comparative Advantage
4. Revealed Symmetric Comparative Advantage

انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد با گواهی CC BY-NC ۴.۰ صورت گرفته است.
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

مقدمه

موضوع صادرات غیرنفتی یکی از مباحث مهم و اساسی در اقتصاد ایران به شمار می‌رود که جهت دوری از اقتصاد تک محصولی و وابستگی به نفت باید به آن توجه خاصی صورت گیرد.

بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی در کشورهای در حال توسعه می‌باشد که علاوه بر تأمین امنیت غذایی نقش مؤثری در توسعه اقتصادی و صادرات غیر نفتی کشور دارد. ایران نیز از این قاعده مستثنا نبوده و بخش کشاورزی در آن دارای اهمیت ویژه‌ای است. این بخش همواره نقش چشم گیری در صادرات غیر نفتی داشته است. در میان محصولات صادراتی بخش کشاورزی، پسته از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (Mohammadi and Bahrami Nasab, 2013). از ویژگی‌های بارز این محصول می‌توان به اشتغال زایی توام با درآمد مناسب بیابان زدایی و از همه مهم تر تحصیل درآمد ارزی قابل توجه اشاره کرد پسته در نیم قرن اخیر به تدریج به عنوان یک کالای مهم تجاری و صادراتی مطرح گردیده است (Sharzehi and Ghanbari, 2000). پسته ایران در سال‌های اخیر جایگاه ویژه‌ای در صادرات غیر نفتی کشور پیدا کرده است به طوری که پس از فرش دستباف، دومین کالای عمده صادراتی کشور به شمار می‌رود در این باره سهم چشم گیری از تولید سطح زیر کشت مقدار و ارزش صادرات جهانی به ایران تعلق دارد (Mehrabi Boshr Abadi,(2002). بر اساس مطالعه‌ای که محمدی و بهرامی نسب در سال ۲۰۱۳ انجام دادند در سال‌های ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۰ میانگین تولید پسته در ایران ۲۹۴۱۹۹ تن و میانگین صادرات این محصول ۱۳۹۶۷۰ تن بوده است که سهم صادرات ایران از تولید پسته در حدود ۴۸٪ بوده است. به عبارتی حدود نیمی از پسته تولید شده در کشور به بازارهای جهانی صادر شده است.

در خصوص بررسی تولید و صادرات پسته و همچنین تغییرات ساختاری بازار جهانی آن مطالعات متعددی انجام شده است که در اینجا به برخی از مطالعات انجام شده اشاره می گردد.

Ghorbanian and Esmaili (2017) در مطالعه‌ای به بررسی رقابت ایران و آمریکا در چهارچوب انحصار چند جانبه در بازار جهانی پسته پرداخته‌اند. در این مطالعه، عنوان شده است از آنجا که دو کشور ایران و آمریکا رقبای اصلی یکدیگر در بازار جهانی پسته می‌باشند مطالعه الگوی رفتاری هر یک می‌تواند برای دیگری در زمینه موفقیت در بازار جهانی پسته و صادرات آن موثر باشد، بر همین اساس مطالعه را بر روی بازارهای عمده وارداتی پسته ایران شامل امارات آلمان و چین متمرکز نمودند. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه نقش آمریکا در دو بازار امارات و آلمان کمرنگ است و ایران دارای انحصار در این دو بازار می‌باشد در حالی که در بازار چین به دلیل حضور آمریکا ساختار دوآپولی وجود دارد.

Karbasi and Amini Zadeh (2017) در مطالعه‌ای عوامل موثر بر صادرات پسته ایران را با تاکید بر نقش تحریم‌های تجاری مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه صادرات پسته به شرکای تجاری در دوره ۲۰۱۳- ۱۹۹۵ با استفاده از الگوی جاذبه مورد بررسی قرار گرفت. بر پایه نتایج حاصل از این تحقیق متغیرهای اندازه اقتصاد و درآمد کشورهای وارد کننده اثری فزاینده و متغیرهای فاصله و تفاوت اقتصادی اثری کاهنده بر صادرات پسته داشته‌اند. همچنین دیده شد که تحریم‌های تجاری اتحادیه اروپا و افزایش قدرت صادراتی آمریکا اثری منفی و معنی‌دار بر صادرات پسته داشته‌اند. در واقع همزمانی افزایش قدرت صادراتی آمریکا و تحریم‌های تجاری موجب شده است که ایران از اتحادیه اروپا به عنوان بازار هدف اصلی صادرات خارج شود و آمریکا با توجه به تعاملات اقتصادی بالا جایگاه خود را تقویت نماید.

Mohammadi and Sakhi Hani(2015) در مطالعه‌ای بررسی عوامل موثر بر عرضه صادرات پسته با تاکید بر نوسانات قیمت‌های نسبی پرداخته‌اند ایشان در این مطالعه از مدل GARCH متقارن و نامتقارن برای بررسی اثر نوسانات قیمت بر عرضه صادرات پسته استفاده کرده‌اند و با استفاده از یک فرایند خود توضیح با وقفه‌های گسترده (ARDL) و مدل تصحیح خطا (ECM)، روابط کوتاه مدت و بلند مدت بین متغیرهای مدل را بررسی نموده‌اند. بر اساس نتایج این مطالعه می‌توان گفت که نوسانات قیمت‌های نسبی پسته در کوتاه مدت و بلند مدت دارای اثر منفی معنی‌دار و نامتقارنی بر عرضه صادرات پسته است. هم چنین نتایج حاصل نشان داد که سایر

متغیرهای تحقیق یعنی تولید داخلی پسته، درآمد حاصل از صادرات نفت و نرخ واقعی ارز نیز دارای علامت مورد انتظار بر عرضه صادرات پسته می‌باشد.

Salar Pour et al.(2014) در یک مطالعه مقایسه ای وضعیت تولید و تجارت پسته ایران و آمریکا را مورد تحلیل قرار دادند و هم چنین تاثیر نوسانات نرخ ارز را بر صادرات پسته بررسی کردند. در این مطالعه که در بازه زمانی سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۱ صورت گرفت، مشخص شد که یک جریان غیرخطی علیت گرنجر از نرخ ارز به صادرات پسته و بالعکس وجود دارد.

Amini Zadeh et al.(2014) در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص‌های مزیت رقابتی (مزیت صادراتی، مزیت تجاری و رقابت پذیری) و شاخص‌های ساختار بازار (نسبت‌های تمرکز و هرفیندال -هیرشمن) به بررسی رقابت پذیری ایران و رقبای صادراتی آن در کشورهای وارد کننده پسته ایران در دوره زمانی ۲۰۱۱- ۱۹۹۷ پرداخته اند. بر اساس نتایج حاصله از این مطالعه، ایران در بازار جهانی با وجود داشتن مزیت صادراتی و تجاری بیشتر در مقایسه با دیگر رقبا با رشد منفی روبرو بوده است.

Faraj Zadeh and Bakhshoudeh(2011) در مطالعه‌ای ساختار بازار جهانی پسته را با تأکید بر قدرت بازاری ایران مورد تحلیل قرار دادند. در این مطالعه پس از بیان اهمیت تولید و صادرات پسته برای اقتصاد ایران، با توجه به تغییرات صورت گرفته در ترکیب کشورهای وارد کننده پسته ایران، به منظور بررسی تغییرات ساختار بازار جهانی پسته و تحلیل تغییرات قدرت بازار ایران، دو دوره مجزای ۱۹۹۶-۱۹۸۹ و ۲۰۰۵- ۱۹۹۷ مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌های این تحقیق نشان داد که با تغییر در ترکیب کشورهای وارد کننده، شاخص قدرت بازار ایران از ۰/۶۶ به ۰/۳۶ کاهش و مازاد مصرف کنندگان خارجی از متوسط سالانه ۴۳ میلیون دلار در دوره ۱۹۹۶- ۱۹۸۹ به بیش از ۱۷۳ میلیون دلار در سال‌های بعد افزایش یافته است. اما باز هم در این مطالعه تأکید شده است، با وجود این وضعیت، هنوز ایران قدرت قابل ملاحظه‌ای در بازار پسته دارد.

Pakravan et al.(2011) در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت صادراتی پسته ایران با رویکرد مزیت نسبی و نقشه‌ریزی تجاری پرداخته‌اند. در این مطالعه مزیت نسبی و موقعیت تجاری صادرات پسته ایران و کشورهای رقیب بررسی شده است. برای این منظور مزیت صادراتی پسته در بین محصولات کشاورزی و صادرات غیر نفتی به طور جداگانه با استفاده از شاخص‌های مزیت نسبی آشکار شده (RCA), مزیت نسبی آشکار شده متقارن (RSCA) ، هیلمن و نقشه تجاری (TM) ، بررسی و مقایسه شده است. نتایج مطالعه انجام شده نشان می‌دهد که ایران طی دوره ۲۰۰۶- ۱۹۹۵ در صادرات پسته دارای مزیت نسبی بوده است. هم چنین با رتبه‌بندی مزیت نسبی صادراتی کشورهای عمده صادر کننده پسته جهان، در این مطالعه دیده شد که بر اساس صادرات غیرنفتی، ایران در رتبه اول و کشورهای هنگ کنگ، ترکیه و آلمان در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. اما در زمینه صادرات کشاورزی کشورهای ایران، آمریکا، هنگ کنگ، آلمان و ترکیه در رتبه‌های اول تا پنجم مزیت نسبی صادراتی پسته جای گرفتند.

Azizi and Yazdani(2006) در مطالعه‌ای به بررسی روند صادرات پسته و شناخت راهبرد صادراتی این محصول در دوره زمانی ۲۰۰۲-۱۹۷۰ پرداختند در این مطالعه از معیار مزیت نسبی آشکار شده (RCA) و هم چنین برآورد تابع عرضه صادرات پسته به دو صورت خطی و لگاریتمی استفاده شده است. بر اساس این مطالعه ایران از سال ۱۹۷۳ به دلیل حساسیت و دنبال کردن پاره‌ای از سیاست‌ها در عرصه تولید و تجارت پسته به یک راهبرد صادراتی برای پسته نزدیک‌تر شده است و پایداری درآمد صادراتی پسته نیز این امر را ثابت می‌کند.

همانطور که دیده می شود، در سالیان گذشته، مطالعات متعددی در خصوص بررسی بازار صادراتی پسته انجام شده است. اما از آن جا که بازارها با گذشت زمان دچار تغییراتی می شوند و غفلت از وضعیت کنونی می تواند موجبات از دست رفتن موقعیت رقابتی شود، لذا لازم است هر چند سال یکبار وضعیت بازار محصولات مختلف مورد بررسی و تحلیل مجدد قرار گیرد. بر همین اساس بسیار لازم و ضروری به نظر می رسد که وضعیت بازار

پسته به عنوان مهم ترین محصول صادرات کشاورزی ایران، در چند سال اخیر که در مطالعات قبلی مد نظر نبوده است، مورد بررسی و تحلیل قرار گیرد. لذا این مطالعه در بازه زمانی ۱۵ ساله ۲۰۰۸ تا ۲۰۲۳ صورت گرفته است.

وضعیت تولید پسته در ایران و جهان

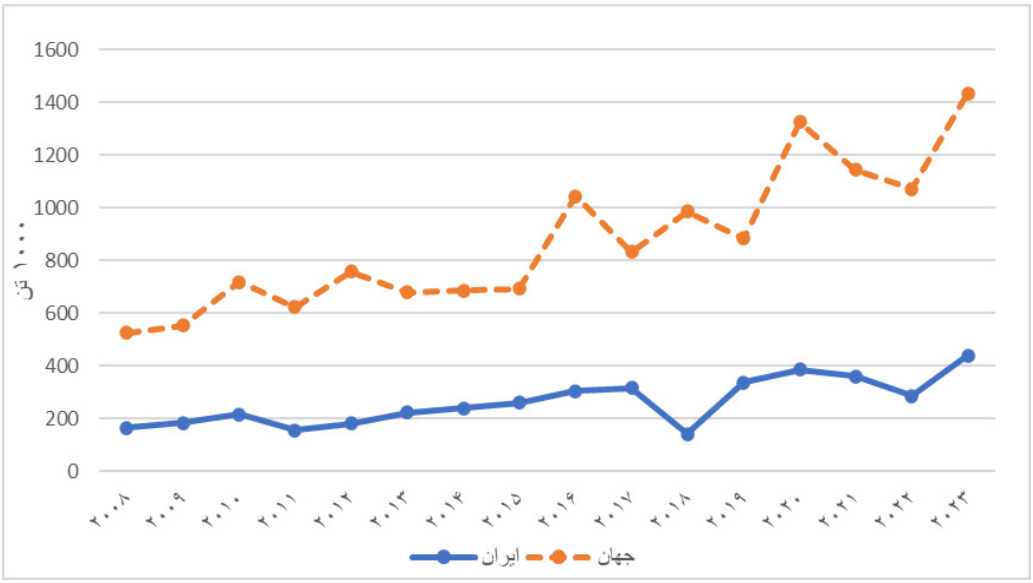
در ابتدا وضعیت تولید و سطح زیر کشت پسته در ایران و دیگر کشورها مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور با مراجعه به منابع جمع آوری داده های لازم، وضعیت تولید پسته مورد توجه قرار می گیرد. نکته ای که در خصوص آمار مربوط به مقادیر تولید پسته ایران وجود دارد این است که در برخی از سال ها آمار ارائه شده از سوی سازمان خوار و بار ملل متحد (FAO) با آمار رسمی ارائه شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی، تفاوت بسیار زیادی دارد. به طوری که در جدول ۱ دیده می شود پس از انطباق سال شمسی به میلادی، دیده می شود که از سال های ۲۰۱۴ به بعد فائو آماری غیر واقعی را بیان می نماید. لذا جهت نگاه واقع گرایانه به وضعیت تولید پسته در ایران، در این مطالعه از آمار رسمی جهاد کشاورزی استفاده می گردد. علاوه بر این اختلافات آماری که در دو مرجع جمع آوری داده های آماری وجود دارد، بعضاً برخی محققین در مطالعات خود آماری ارائه نموده اند که صحت نداشته و با هیچ کدام از منابع ذکر شده هم خوانی ندارند. به عنوان مثال Salar Pour et al. (2014) در مطالعه خود میزان تولید پسته ایران در سال ۲۰۱۱ را ۴۷۲۰۹۷ تن اعلام کرده اند در حالی که رقم واقعی تولید پسته ۱۵۷۰۰۰ تن بوده است. لذا لازم است محققین هم به اختلافات آماری موجود دقت داشته باشند و هم در بیان آمار و ارقام مورد نظر نهایت دقت را داشته باشند تا نتیجه گیری های حاصله قابل اتکا بوده و بتوان در تصمیم گیری ها مورد استفاده قرار گیرد. در جدول۱ مقادیر تولید پسته ایران که از سوی دو مرجع ذکر شده گزارش شده است ارائه می گردد. همان سطور که مشاهده می شود، در طول دوره مورد بررسی تولید پسته روندی صعودی داشته و از ۱۵۸ هزار تن در سال ۲۰۰۸ به رقم ۴۳۹/۵ هزار تن در سال ۲۰۲۳ رسیده است. در واقع میانگین تولید پسته در طول این ۱۵ سال ۲۶۴/۴ هزار تن بوده است.

جدول ۱: آمار مقادیر تولید ارائه شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی و سازمان فائو

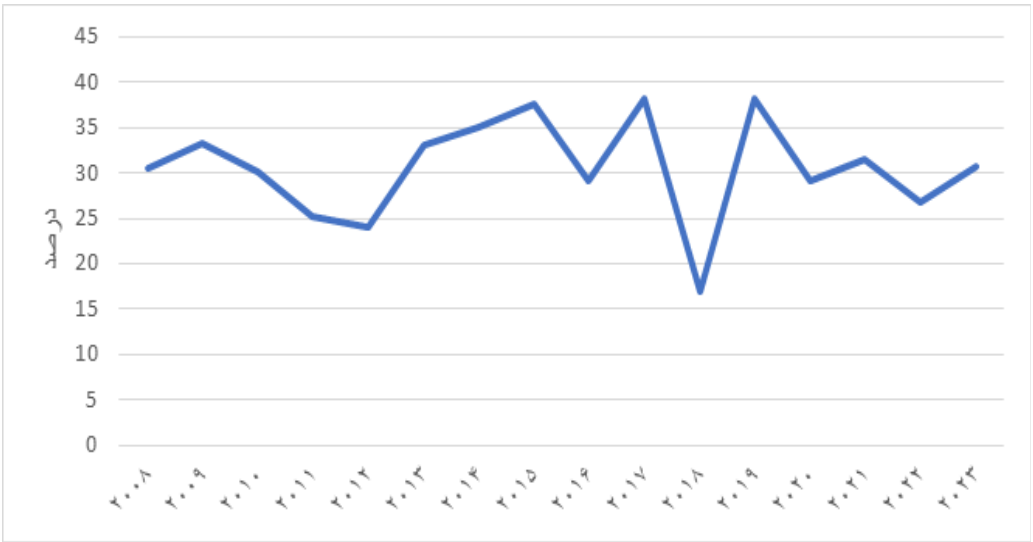
سال	آمار وزارت جهاد کشاورزی	آمار FAO	سال	آمار وزارت جهاد کشاورزی	آمار FAO
۲۰۰۸	۱۵۸	۱۶۵	۲۰۱۶	۳۰۴/۵	۵۷۵
۲۰۰۹	۱۸۴	۱۸۴	۲۰۱۷	۳۱۷/۵	۶۴۹
۲۰۱۰	۲۱۶	۲۱۶	۲۰۱۸	۱۷۲/۶	۱۴۳/۷
۲۰۱۱	۱۵۷	۱۵۷	۲۰۱۹	۳۳۷/۴	۳۳۷/۸
۲۰۱۲	۱۸۳	۱۸۳	۲۰۲۰	۳۸۶/۹	۱۹۰
۲۰۱۳	۲۲۵	۲۲۵	۲۰۲۱	۳۶۰/۵	۴۳۰
۲۰۱۴	۲۴۰	۴۴۰	۲۰۲۲	۲۸۷/۳	۲۴۱/۶
۲۰۱۵	۲۶۱	۴۳۰	۲۰۲۳	۴۳۹/۵	۳۰۷/۸

در نمودار ۱ وضعیت تولید پسته در ایران با مقادیر تولید جهانی این محصول مقایسه شده است. همانطور که مشخص است، در روند تولید پسته در جهان نیز صعودی بوده است. آنچه که از این نمودار مشخص می شود، در طول دوره مورد بررسی، اختلاف تولید ایران با تولید جهانی قدری افزایش داشته است. برای بررسی دقیق تر وضعیت تولید پسته ایران در سطح جهان، سهم ایران از تولید جهانی محاسبه شده است. همانطور که نمودار ۲ نشان می دهد. سهم ایران در سال ۲۰۰۸ تقریباً برابر با ۳۱٪ بوده است که در طول این دوره با فراز و نشیب هایی روبرو بوده و نهایتا در سال ۲۰۲۳ مجدداً به ۳۱٪ رسیده است. هر چند که در دوره مورد بررسی سهم ایران از تولید جهانی تقریباً ثابت مانده است اما اگر نگاهی به سال‌های قبل بیندازیم، خواهیم دید که سهم ایران در

سالیان گذشته بسیار بیشتر بوده و به تدریج این سهم کاهش یافته است. در مطالعه (Mehrabi and Ne-shat (2010 هم نشان داده شده است که در فاصله سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۷ نیز این سهم از ۶۰٪ در سال ۱۹۹۵ به ۴۶٪ در سال ۲۰۰۷ کاهش پیدا کرده است. لذا آنچه که مشخص می شود این است که با گذشت زمان مرتباً سهم ایران از تولید پسته جهان کاهش پیدا کرده است. یکی از دلایل این کاهش جایگاه تولید پسته ایران را باید در تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی جستجو نمود. بر اساس مطالعات متعدد از جمله Hashemi Nasab et al(2019)، Elloumi et al.(2013) و Ahmadi et al. (2021) ، تغییرات اقلیمی باعث کاهش قابل توجه کمیت و کیفیت تولید پسته می گردد.



نمودار۱: مقادیر تولید پسته ایران در مقایسه با تولید جهانی



نمودار ۲: سهم ایران از تولید جهانی در دوره زمانی مورد بررسی (۲۰۲۳-۲۰۰۸)

جدول۲ وضعیت تولید پسته در ایران و سه کشور آمریکا، ترکیه و چین که بیش ترین میزان تولید را دارا می باشند را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود آمریکا در طول دوره مورد بررسی با رشد تولید بسیار زیادی روبرو بوده و با افزایش تولید از ۱۲۶ هزار تن به ۶۷۵ هزار تن سهم خود از تولید جهانی را از ۲۴ درصد به ۴۷ درصد رسانده است. در این دوره ترکیه به طور میانگین ۱۵ درصد و چین ۸ درصد از تولید پسته را به خود اختصاص داده اند. در مجموع این ۴ کشور در طول دوره مورد بررسی سهم بیشتری از تولید پسته جهان را به خود اختصاص داده اند. همانطور که ملاحظه می شود، سهم این ۴ کشور از کل تولید پسته از ۸۵ درصد به ۹۵ درصد رسیده است.

جدول ۲: مقادیر تولید پسته ۴ کشور ایران، آمریکا، ترکیه و چین و سهم تولید هر یک از آن‌ها

	ایران		آمریکا		ترکیه		چین		مجموع سهم ۴ کشور
	تولید	سهم	تولید	سهم	تولید	سهم	تولید	سهم	
۲۰۰۸	۱۵۸	۳۰/۴۹	۱۲۶/۱	۲۴/۳	۱۲۰/۱۱	۲۳/۲	۴۰	۷/۷	۸۵/۷
۲۰۰۹	۱۸۴	۳۲/۲۲	۱۶۱/۰۲۵	۲۹/۱	۸۱/۷۹۵	۱۴/۸	۴۵	۸/۲	۸۵/۲
۲۰۱۰	۲۱۶	۳۰/۰۷	۲۳۶/۷۷۵	۳۲/۹	۱۲۸	۱۷/۸	۵۸	۸/۱	۸۸/۹
۲۰۱۱	۱۵۷	۲۵/۱۵	۲۳۱/۳۹۵	۳۲/۳	۱۱۲	۱۷/۹	۷۴	۱۱/۹	۸۷/۲
۲۰۱۲	۱۸۳	۲۴/۰۹	۲۷۵/۵	۳۶/۳	۱۵۰	۱۹/۷	۷۲	۹/۵	۸۹/۶
۲۰۱۳	۲۲۵	۳۳/۱۲	۲۱۳/۱۸۸	۳۱/۴	۸۸/۶	۱۳/۱	۷۴	۱۰/۹	۸۸/۵
۲۰۱۴	۲۴۰	۳۴/۹۵	۲۳۳/۱۴۶	۳۳/۹	۸۰	۱۱/۷	۷۸/۲۳	۱۱/۴	۹۱/۹
۲۰۱۵	۲۶۱	۳۷/۶۷	۱۲۲/۴۷	۱۷/۷	۱۴۴	۲۰/۸	۸۳/۵۳	۱۲/۱	۸۸/۲
۲۰۱۶	۳۰۴/۵	۲۹/۱۴	۴۰۶/۶۴۶	۳۸/۹	۱۷۰	۱۶/۳	۷۸/۵۸	۷/۵	۹۱/۸
۲۰۱۷	۳۱۷/۵	۳۸/۱۳	۲۷۲/۲۹	۳۲/۷	۷۸	۹/۴	۷۶/۹۵	۹/۳	۸۹/۵
۲۰۱۸	۱۷۲/۶	۱۷/۰۱	۴۴۷/۷	۴۴/۱	۲۴۰	۲۳/۷	۷۶/۲۳	۷/۵	۹۲/۴
۲۰۱۹	۳۳۷/۴	۳۸/۱۳	۳۳۶/۱۱۲	۳۷/۹	۸۵	۹/۶	۷۶/۲۳	۸/۷	۹۴/۴
۲۰۲۰	۳۸۶/۹	۲۹/۱۸	۴۷۴	۳۵/۷	۲۹۶/۳۷	۲۲/۳	۸۰/۵۷	۶/۱	۹۳/۴
۲۰۲۱	۳۶۰/۵	۳۱/۴۷	۵۲۳/۹	۴۵/۷	۱۱۹/۳۵	۱۰/۴	۸۰/۲۴	۷	۹۴/۶
۲۰۲۲	۲۸۷/۳	۲۶/۸	۴۰۰/۰۷	۳۷/۳	۲۳۹/۲۸	۲۲/۳	۸۱/۰۳	۷/۵	۹۴
۲۰۲۳	۴۳۹/۵	۳۰/۶۲	۶۷۵/۸۵	۴۷/۱	۱۷۹	۱۲/۲۶	۸۰/۶۱	۵/۶	۹۵/۶

وضعیت سطح زیر کشت پسته در ایران و جهان

برای دیدن چشم انداز پیش رو در سال‌های آتی در زمینه تولید پسته، لازم است وضعیت سطح زیر کشت پسته در ایران و دیگر کشورها را مورد بررسی قرار دهیم. در خصوص آمار ارائه شده برای سطح زیر کشت نیز بین آنچه وزارت جهاد کشاورزی ارائه می نماید تا آمار ارائه شده از سوی سازمان فائو، اختلاف چشمگیری دیده می‌شود. جدول ۳ آمار ارائه شده از سوی این دو مأخذ را برای دوره مورد بررسی نشان میدهد. با توجه به این اختلافات آماری، در مطالعه حاضر آمار ارائه شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی مد نظر قرار گرفت.

جدول ۳: آمار سطح زیر کشت ارائه شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی و سازمان فائو

سال	آمار وزارت جهاد کشاورزی	آمار FAO	سال	آمار وزارت جهاد کشاورزی	آمار FAO
۲۰۰۸	۲۳۷	۲۸۰	۲۰۱۶	۳۵۹/۱	۵۵۳
۲۰۰۹	۲۳۴	۲۸۴	۲۰۱۷	۳۷۶/۷	۴۳۰
۲۰۱۰	۲۴۶	۲۸۸	۲۰۱۸	۳۹۲/۴	۱۴۷
۲۰۱۱	۱۹۰	۲۹۰	۲۰۱۹	۴۰۵/۷	۴۱۱
۲۰۱۲	۲۲۹/۶	۲۹۵	۲۰۲۰	۴۲۴/۴	۱۹۷
۲۰۱۳	۳۰۴/۱	۳۰۴	۲۰۲۱	۵۱۲/۲	۴۰۸
۲۰۱۴	۳۱۶/۷	۳۳۵	۲۰۲۲	۵۵۹/۷	۲۱۹
۲۰۱۵	۳۳۵/۳	۳۳۴	۲۰۲۳	۵۱۲/۲	۲۷۴

با توجه به آمار مربوط به سطح زیر کشت پسته در ایران، دیده می شود که طی ۱۵ سال مورد مطالعه، سطح زیر کشت پسته از ۲۳۷ هزار هکتار به ۵۱۲ هزار هکتار رسیده است و با ۲/۳ برابر شدن، رشد ۱۱۶ درصدی را نشان می دهد. جدول ۴ وضعیت سطح زیر کشت پسته را در ۴ کشور آمریکا، ترکیه، سوریه و چین که دارای بزرگترین سطح زیر کشت می باشند را نشان می دهد. با توجه به آمار ارائه شده، سطح زیر کشت پسته در آمریکا در دوره مورد بررسی با رشد ۲۹۱ درصدی روبرو بوده و تقریبا ۴ برابر شده است. در همین دوره سطح زیر کشت چین ۴۴ درصد و سطح زیر کشت سوریه فقط ۸ درصد افزایش داشته است. نکته قابل تأمل در این آمار، رشد خیره کننده سطح زیر کشت ترکیه است. در این کشور در طول این ۱۵ سال، سطح زیر کشت پسته بیش از ۱۰ برابر شده است و رشد ۹۲۶ درصدی را نشان می دهد. بیشترین افزایش سطح زیر کشت در این کشور مربوط به سال ۲۰۱۸ می باشد که به در عرض یک سال سطح زیر کشت ۵ برابر شده و از ۶۸۲۳۷ هکتار در سال ۲۰۱۷ به ۳۵۴۵۰۰ هکتار در سال ۲۰۱۸ رسیده است. همانطور که دیده می شود در زمینه سطح زیر کشت، هر چند که هنوز ایران از دیگر کشورهای تولید کننده، وضعیت بهتری دارد اما کشورهای ترکیه و آمریکا در این خصوص با شتاب بیشتری در حال حرکت می باشند و به نظر می رسد به زودی از ایران پیشی خواهند گرفت (هر چند که بر اساس آمار ارائه شده توسط سازمان فائو، کشور ترکیه در حال حاضر نیز تقریباً دو برابر سطح زیر کشت ایران را دارا می باشد).

جدول ۴: سطح زیر کشت چهار کشور تولیدکننده عمده پسته آمریکا، ترکیه، سوریه و چین (هکتار)

	آمریکا	ترکیه	سوریه	چین
۲۰۰۸	۴۷۷۵۳	۴۰۹۵۴	۵۶۰۸۹	۱۸۰۰۰
۲۰۰۹	۵۰۹۹۰	۴۳۰۶۳	۵۶۰۵۳	۲۰۰۰۰
۲۰۱۰	۵۵۴۴۲	۴۲۳۱۰	۵۶۱۰۳	۲۴۰۰۰
۲۰۱۱	۶۱۹۱۷	۴۴۰۹۷	۶۰۸۹۳	۲۵۰۰۰
۲۰۱۲	۷۳۶۵۵	۵۳۰۷۱	۵۹۸۹۰	۲۵۰۰۰
۲۰۱۳	۸۲۱۵۱	۵۴۴۵۱	۵۹۹۰۳	۲۵۰۰۰
۲۰۱۴	۸۹۴۳۶	۵۶۱۸۶	۵۶۸۹۳	۲۶۸۰۷
۲۰۱۵	۹۴۲۹۲	۵۷۹۹۶	۵۹۹۲۸	۲۸۰۶۴
۲۰۱۶	۹۶۷۲۰	۶۰۸۱۴	۵۹۹۴۰	۲۶۶۲۴
۲۰۱۷	۱۰۱۱۷۰	۶۸۲۳۷	۵۹۹۶۶	۲۷۱۶۵
۲۰۱۸	۱۰۶۸۴۰	۳۵۴۵۰۰	۵۹۹۶۵	۲۷۲۸۴
۲۰۱۹	۱۳۷۵۹۳	۳۶۶۲۱۰	۵۹۹۸۹	۲۶۳۵۰
۲۰۲۰	۱۵۰۵۴۵	۳۸۱۸۴۷	۶۰۳۶۳	۲۵۸۹۳
۲۰۲۱	۱۶۵۵۱۸	۳۸۹۴۵۱	۶۰۳۸۱	۲۵۷۵۵
۲۰۲۲	۱۷۳۲۰۷	۴۰۸۷۰۹	۶۰۵۱۰	۲۵۹۹۹
۲۰۲۳	۱۸۶۹۶۷	۴۲۰۵۶۲	۶۰۵۷۱	۲۵۸۸۳

نکته مهم دیگری که لازم است به آن توجه شود، موضوع پایین بودن عملکرد تولید پسته در ایران است. با توجه به آمار ارائه شده که در جدول ۵ آورده شده است، میانگین عملکرد تولید پسته در طول دوره مورد بررسی برابر با ۷۴۱/۸ کیلوگرم در هکتار می باشد که از میانگین عملکرد هر چهار کشور دیگر پایین تر است. بزرگترین رقیب ایران یعنی آمریکا بیش از ۴ برابر میانگین عملکرد ایران را دارا می باشد. کشور ترکیه نیز تا قبل از سال ۲۰۱۸ که اقدام به گسترش زیاد سطح زیر کشت پسته نموده است، میانگین عملکردی برابر با ۲۲۶۹/۶ کیلوگرم در هکتار یعنی ۳ برابر عملکرد ایران را داشته است. کاهش شدید عملکرد در این کشور از سال ۲۰۱۸ به بعد به علت باغات پسته ای است که به تازگی زیر کشت تولید پسته برده شده و هنوز به مرحله بازدهی واقعی خود نرسیده‌اند. به نظر میرسد در سال های آتی با بالارفتن عملکرد در این کشور، ترکیه گوی سبقت را در زمینه تولید پسته از دو رقیب خود یعنی ایران و آمریکا برباید.

جدول ۵: عملکرد پسته در ایران و ۴ کشور تولیدکننده عمده (کیلوگرم در هکتار)

	ایران	آمریکا	ترکیه	سوریه	چین
۲۰۰۸	۴۸۳/۱	۲۶۴۰/۷	۲۹۳۲/۹	۹۳۷/۸	۲۲۲۲/۲
۲۰۰۹	۷۸۶/۳	۳۱۵۸	۱۸۹۹/۴	۱۰۹۶/۹	۲۲۵۰
۲۰۱۰	۸۷۸	۴۲۷۰/۷	۳۰۲۵/۳	۱۰۲۴/۴	۲۴۱۶/۷
۲۰۱۱	۸۲۶/۳	۳۲۵۲/۷	۲۵۳۹/۹	۹۱۳/۲	۲۹۶۰
۲۰۱۲	۷۹۷	۳۷۴۰/۴	۲۸۲۶/۴	۹۵۵	۲۸۸۰
۲۰۱۳	۷۴۰	۲۵۹۵/۱	۱۶۲۷/۲	۹۱۰/۱	۲۹۶۰
۲۰۱۴	۷۵۶/۷	۲۶۰۶/۸	۱۴۲۳/۸	۴۸۰/۶	۲۹۱۸/۳
۲۰۱۵	۷۷۸/۷	۱۲۹۸/۸	۲۴۸۲/۹	۸۷۹/۲	۲۹۷۶/۵
۲۰۱۶	۸۴۷/۷	۴۲۰۴/۴	۲۷۹۵/۴	۸۳۲/۶	۲۹۵۱/۸
۲۰۱۷	۸۴۲/۷	۲۶۹۱/۴	۱۱۴۳/۱	۸۵۱/۳	۲۸۳۲/۷
۲۰۱۸	۴۳۹/۸	۴۱۹۰/۴	۶۷۷	۱۰۲۷/۸	۲۷۹۴
۲۰۱۹	۸۳۱/۶	۲۴۴۲/۸	۲۳۲/۱	۵۳۰/۳	۲۸۹۳
۲۰۲۰	۹۱۱/۶	۳۱۴۸/۶	۷۷۶/۲	۱۱۴۹/۸	۳۱۱۱/۸
۲۰۲۱	۷۰۳/۸	۳۱۶۵/۲	۳۰۶/۵	۷۱۳/۹	۳۱۱۵/۸
۲۰۲۲	۵۱۳/۳	۲۳۰۹/۸	۵۸۵/۵	۷۵۱/۴	۳۱۱۶/۷
۲۰۲۳	۷۳۲/۸	۳۶۱۴/۸	۴۱۸/۵	۷۴۶/۶	۳۱۱۴/۸
میانگین	۷۴۱/۸	۳۰۸۳/۱	۱۶۰۵/۷	۸۶۲/۵	۲۸۴۴/۶

مواد و روش‌ها

برای بررسی و تحلیل قدرت بازار از شاخصهای متعددی میتوان استفاده نمود. در این مطالعه از دو شاخص محاسباتی یعنی شاخص نسبت های تمرکز و شاخص هرفیندال- هیرشمن استفاده می شود. شاخص تمرکز بازار به صورت (سهم بزرگترین بنگاه موجود در بازار) تا (سهم چهار بنگاه بزرگ حاضر در بازار) محاسبه می گردد. در حالی که شاخص هرفیندال- هیرشمن از اطلاعات کلیه کشورهای حاضر در بازار استفاده می کند. در واقع شاخص هرفیندال- هیرشمن به صورت زیر معرفی می گردد:

$$HHI = \sum_{i=1}^{k} S_i^2$$

در این رابطه، HHI بیانگر شاخص هرفیندال- هیرشمن و سهم کشور i از بازار به صورت درصد و k تعداد کشورهای فعال در بازار است. بر اساس نظر Tirole (2002) چگونگی استنباط از این شاخص به این صورت است که مقادیر شاخص کمتر از ۱۰۰۰ به معنی بازار غیر متمرکز، مقادیر واقع در دامنه ۱۸۰۰-۱۰۰۰ بیانگر تمرکز متوسط و مقادیر بالاتر از ۱۸۰۰ به معنی تمرکز شدید در بازار خواهد بود. در خصوص شاخص تمرکز بازار نیز بر اساس نظر Madalla et al. (1995) برای مقادیر کمتر از ۱۰ درصد بیانگر وضعیت رقابت انحصاری و مقادیر بالاتر از ۵۰ درصد نشان دهنده ساختار بازار انحصاری دارای بنگاه مسلط خواهد بود. همچنین در مورد مقادیر بالاتر از ۴۰ درصد نشان دهنده ساختار انحصار چند جانبه باز و مقادیر بالاتر از ۶۰ درصد نشان دهنده انحصار چند جانبه بسته خواهد بود.

در خصوص چگونگی اندازه گیری مزیت نسبی صادراتی، روش‌های مختلفی از سوی افرادی هم چون (Liesner 1958) و Balassa (1965) مطرح شده است. اما روشی که در این مطالعه مورد استفاده قرار می‌گیرد، روشی است که از سوی Vollrath (1991) و در تکمیل روش های اراده شده قبلی، ارائه گردیده است. شاخص والراس به صورت زیر تعریف می شود:

$$RCA = \frac{\frac{X_{ij}}{\sum_j X_{ij}}}{\frac{\sum_i X_{ij}}{\sum_i \sum_j X_{ij}}}$$

در این رابطه RCA را مزیت نسبی آشکار شده می نامند. صورت این کسر، سهم صادراتی محصول مورد نظر از کل صادرات کشور و مخرج کسر، سهم صادراتی محصول از کل صادرات جهانی است. بر اساس این شاخص که از سوی محققان بسیاری در داخل و خارج از کشور مورد استفاده قرار گرفته است، اگر RCA در بازه صفر تا ۱ قرار گیرد، به معنی عدم وجود مزیت نسبی و در صورتیکه این شاخص در بازه ۱ تا بی نهایت به دست آید، نشان دهنده وجود مزیت نسبی خواهد بود. همانطور که مشاهده می شود این شاخص به شکلی نامتقارن در خصوص وجود و یا عدم وجود مزیت نسبی به کار گرفته می شود. برای پرهیز از این عدم تقارن، شاخص مزیت نسبی آشکارشده متقارن به صورت زیر معرفی می گردد:

$$RSCA_{ij} = \frac{RCA_{ij} - 1}{RCA_{ij} + 1}$$

این شاخص نیز که در مطالعات متعددی هم چون Dalum et al. (1998)، Laursen (1998) و Hosseini and Rafiee (2008) مورد استفاده قرار گرفته است، مقادیری در بازه ۱- تا ۱+ به خود می گیرد. مقادیر مثبت این شاخص نشان دهنده وجود مزیت صادراتی و مقادیر منفی آن نشان دهنده عدم وجود مزیت صادراتی می باشد.

با توجه به مطالعات Hillman (1980) و Yeats (1985) ، شاخص RCA شاخص مناسبی برای مقایسه مزیت نسبی کالایی نیست و برای اینکه کشور j در کالای i مزیت نسبی داشته باشد، لازم است شرط زیر برقرار باشد Fathi (2002):

$$\left(1 - \frac{X_{ij}}{iw}\right) > \frac{X_{ij}}{X_{Tj}}\left(1 - \frac{X_{iw}}{X_{Tw}}\right)$$

درواقع شاخص هیلمن را می توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$HI = \frac{\left(1 - \frac{X_{ij}}{iw}\right)}{\frac{X_{ij}}{X_{Tj}}\left(1 - \frac{X_{iw}}{X_{Tw}}\right)} > 1$$

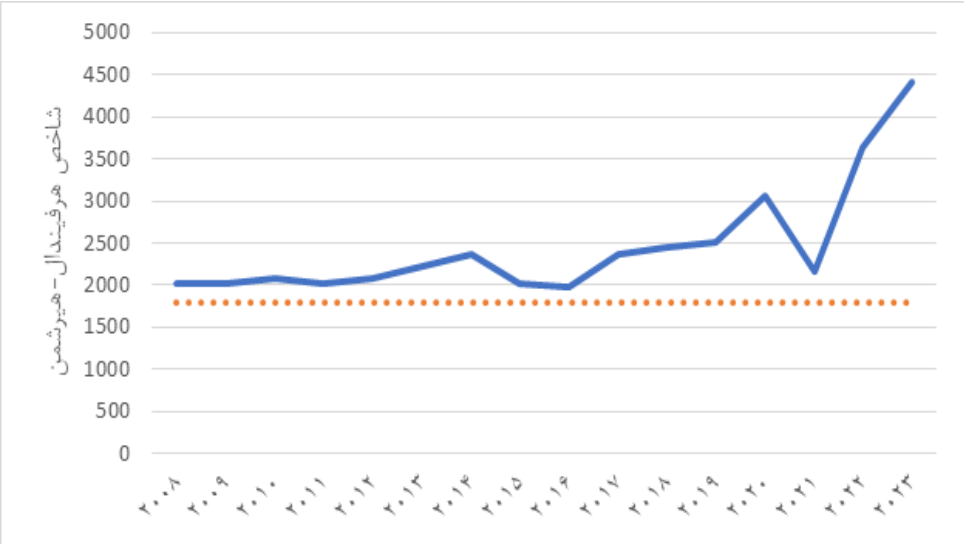
در روابط فوق، i نوع کالا و j کشور مورد بررسی، T نمایانگر کل محصولات در کشور مورد بررسی، w کل محصولات کشاورزی در جهان و X صادرات است.

اطلاعات لازم برای انجام محاسبات مورد نظر در این مطالعه از سایت سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد[5] (FAO) و وزارت جهاد کشاوزی در بازه زمانی ۲۰۲۳- ۲۰۰۸ استخراج گردیده است.

5. WWW.FAO.ORG

نتایج و بحث

نتایج محاسبه شاخص هرفیندال- هیرشمن برای دوره مورد بررسی در نمودار ۳ دیده می شود. همانطور که دیده میشود در تمام این دوره شاخص محاسبه شده بالاتر از ۱۸۰۰ بوده و در واقع بازار صادراتی محصول پسته یک بازار با تمرکز شدید است. از سوی دیگر محاسبات مربوط به شاخص نسبت های تمرکزکه در جدول۶ آمده است، حاکی از وجود بازار انحصارچند جانبه بسته خواهد بود. قبلاً در مطالعه Amini Zadeh et al. (2014) نیز دیده شد که در بازه زمانی ۲۰۱۱-۱۹۹۷ بازار صادراتی پسته دارای ساختار انحصار چند جانبه بوده است. در بررسی شاخص هرفیندال- هیرشمن متوجه می شویم که این شاخص در طول دوره مورد بررسی با نوساناتی افزایش داشته است و در واقع میزان تمرکز در بازار افزایش یافته است.



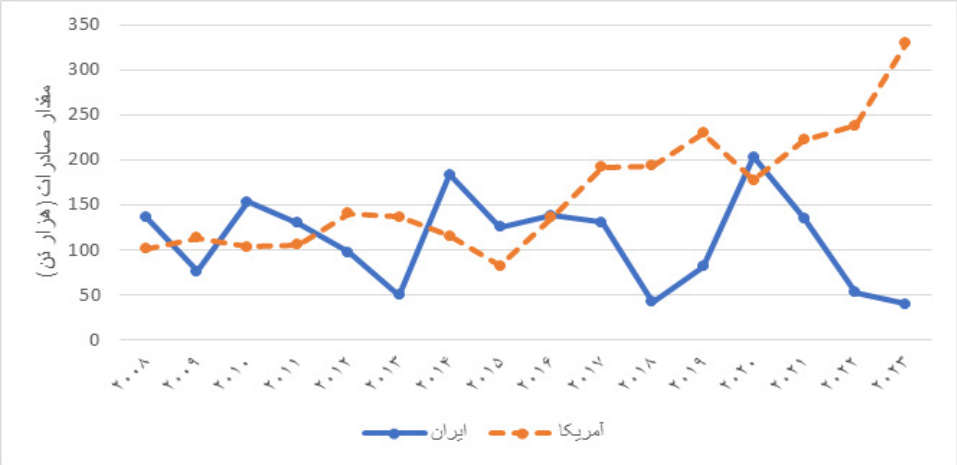
نمودار ۳: تغییرات شاخص هرفیندال- هیرشمن در دوره زمانی مورد نظر (۲۰۰۸-۲۰۲۳)

بررسی شاخص نسبت های تمرکز که در جدول ۶ محاسبات مربوطه آورده شده است، نشان می دهد که در ابتدای دوره مورد بررسی یعنی از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۶ به شکلی متناوب جای ایران و آمریکا به عنوان بزرگترین صادرکننده جابجا شده است. در حالی که از سال ۲۰۱۶ به بعد (بجز سال ۲۰۲۰) آمریکا به عنوان بزرگترین صادرکننده پسته در جهان عمل نموده است. کاهش سهم ایران از صادرات پسته به اندازه ای زیاد بوده است که در سال ۲۰۲۳، این سهم به ۷/۸ درصد رسیده است.

جدول ۶: شاخص نسبت های تمرکز در دوره مورد بررسی

	CR_1	بزرگترین کشور صادرکننده و سهم از صادرات	CR_2	دومین کشور صادر کننده و سهم از صادرات	CR_3	سومین کشور صادر کننده و سهم از صادرات	CR_4	چهارمین کشور صادر کننده و سهم از صادرات
۲۰۰۸	۳۴/۱۳	ایران (۳۴/۱۳)	۵۹/۳۵	آمریکا (۲۵/۲۲)	۶۸/۸۹	چین (۹/۵۴)	۷۶/۱	هنگ کنگ (۷/۲۱)
۲۰۰۹	۳۴/۷۹	آمریکا (۳۴/۷۹)	۵۸/۱۵	ایران (۲۳/۳۶)	۶۸/۷۳	چین (۱۰/۵۸)	۷۷/۹۴	هنگ کنگ (۹/۲۱)
۲۰۱۰	۳۴/۳۴	ایران (۳۴/۳۴)	۵۷/۵۵	آمریکا (۲۳/۲۱)	۷۰/۶	چین (۱۳/۰۵)	۸۲/۸۹	هنگ کنگ (۱۲/۲۹)
۲۰۱۱	۳۰/۲۲	ایران (۳۰/۲۲)	۵۴/۸۱	آمریکا (۲۴/۵۹)	۷۰/۸۷	چین (۱۶/۰۶)	۸۵/۷۲	هنگ کنگ (۱۴/۸۵)
۲۰۱۲	۳۲/۴۵	آمریکا (۳۲/۴۵)	۵۴/۹۱	ایران (۲۲/۴۶)	۷۱/۷۶	چین (۱۶/۸۵)	۸۶/۳۱	هنگ کنگ (۱۴/۵۵)
۲۰۱۳	۳۷/۵۶	آمریکا (۳۷/۵۶)	۵۵/۴۱	چین (۱۷/۸۵)	۷۱/۹۹	هنگ کنگ (۱۶/۵۸)	۸۵/۶۲	ایران (۱۳/۶۳)
۲۰۱۴	۳۷/۷۵	ایران (۳۷/۷۵)	۶۱/۶	آمریکا (۲۳/۸۵)	۷۵/۱۶	چین (۱۳/۵۶)	۸۸/۲۹	هنگ کنگ (۱۳/۱۳)
۲۰۱۵	۳۳/۶۴	ایران (۳۳/۶۴)	۵۵/۶۵	آمریکا (۲۲/۰۱)	۶۹/۲۸	چین (۱۳/۶۳)	۸۲/۴۸	هنگ کنگ (۱۳/۲۰)
۲۰۱۶	۲۷/۱۴	ایران (۲۷/۱۴)	۵۳/۷۴	آمریکا (۲۶/۶)	۶۹/۹۷	چین (۱۶/۲۳)	۸۵/۹۲	هنگ کنگ (۱۵/۹۵)
۲۰۱۷	۳۷/۳۰	آمریکا (۳۷/۳)	۶۲/۷	ایران (۲۵/۴)	۷۵/۴	چین (۱۲/۷)	۸۷/۸	هنگ کنگ (۱۲/۴)
۲۰۱۸	۴۳/۴۸	آمریکا (۴۳/۴۸)	۵۸/۷۲	چین (۱۵/۲۴)	۷۳/۱۸	هنگ کنگ (۱۴/۴۶)	۸۲/۵۹	ایران (۹/۴۱)
۲۰۱۹	۴۳/۶۳	آمریکا (۴۳/۶۳)	۵۹/۰۲	ایران (۱۵/۳۹)	۷۲/۳۲	چین (۱۳/۳)	۸۴/۹۷	هنگ کنگ (۱۲/۶۵)
۲۰۲۰	۴۱/۴۱	ایران (۴۱/۴۱)	۷۷/۵۳	آمریکا (۳۶/۱)	۸۰/۹۶	آلمان (۳/۴)	۸۴/۲۷	چین (۳/۳)
۲۰۲۱	۴۶/۵۰	آمریکا (۴۶/۵)	۷۴/۸۶	ایران (۲۸/۳)	۷۹/۷۶	ترکیه (۴/۹)	۸۳/۲۵	آلمان (۳/۴)
۲۰۲۲	۵۸/۰۱	آمریکا (۵۸/۰۱)	۷۰/۸۲	ایران (۱۲/۸)	۷۶/۹۲	آلمان (۶/۱)	۸۳/۰۱	ترکیه (۶/۰۹)
۲۰۲۳	۶۵/۲۱	آمریکا (۶۵/۲۱)	۷۳/۰۱	ایران (۷/۸)	۷۹/۳۲	ترکیه (۶/۳۱)	۸۴/۶	بلژیک (۵/۲۸)

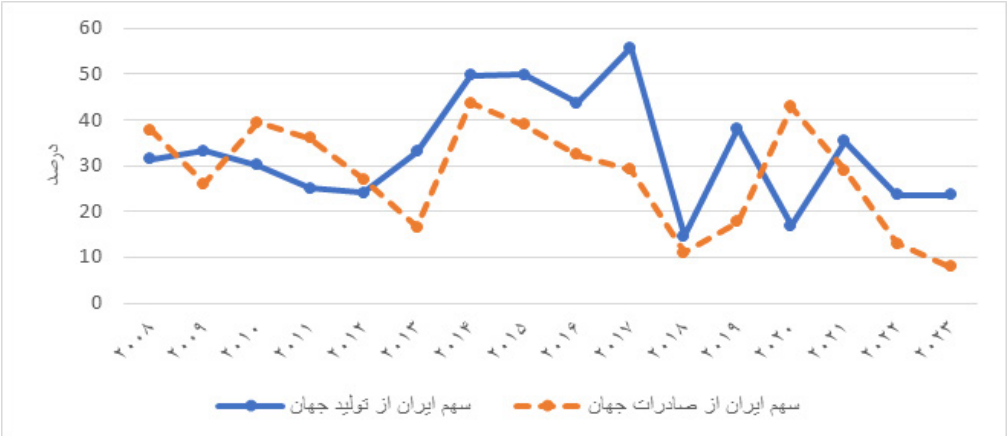
در واقـع بـا وجـود بالاتـر رفتـن میـزان تمرکـز بـازار، امـا از میـزان قـدرت ایـران بـه عنـوان یـک بنـگاه مسـلط در بـازار کاسـته شـده اسـت. نمـودار ۴ مقادیـر صـادرات پسـته ایـران و آمریـکا را نشـان می دهـد. در ایـن نمـودار رونـد صعـودی صـادرات آمریـکا و رونـد نـزولی صـادرات پسـته ایـران بـه خـوبی مشـهود اسـت.



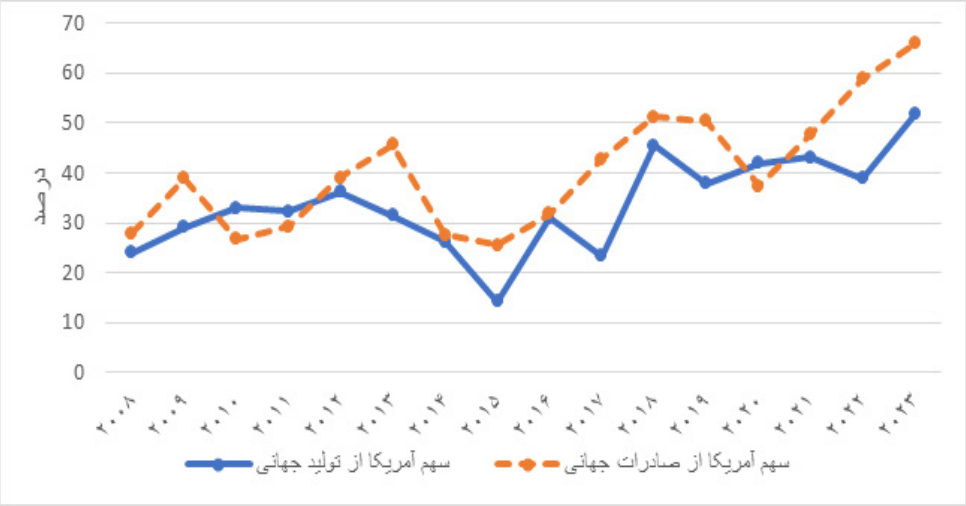
نمودار۴: مقادیر صادرات پسته ایران و آمریکا در بازه زمانی مورد بررسی (۲۰۲۳-۲۰۰۸)

همانطـور کـه در جـدول۶ دیـده می شـود، کشـورهایی کـه در ۱۵ سـال اخیـر جـزو صادرکننـدگان عمـده پسـته محسـوب می شـوند، عبارتنـد از ایـران، آمریـکا، ترکیـه، چیـن، هنـگ کنـگ، آلمـان و بلژیـک. بـا بـررسی میـزان تولیـد ایـن کشـورها، مشـخص می شـود کـه کشـورهای هنـگ کنـگ، آلمـان و بلژیـک هیـچ گونـه تولیـد پسـته ای ندارنـد و در عـوض ایـن کشـورها جـزو بـزرگ تریـن واردکننـدگان پسـته دنیـا محسـوب می شـوند. در واقـع مقادیـر صـادراتی کـه بـرای ایـن کشـورها ثبـت شـده اسـت، صـادرات مجـددی اسـت کـه از ایـن کشـورها صـورت می گیـرد. لـذا در تحلیل‌هـایی کـه بـرای مزیـت رقابـتی صـادراتی کشـورها صـورت می گیـرد بایـد بـه ایـن مسـأله توجـه نمـود.

نمودارهـای ۵ سـهم ایـران از صـادرات و تولیـد جهـانی و نمـودار ۶ سـهم آمریـکا از صـادرات و تولیـد جهـانی را نشـان می دهـد. همانطـور کـه در ایـن دو نمـودار دیـده می شـود در دوره مـورد بـررسی، رونـد سـهم ایـران در تولیـد و صـادرات جهـانی کاهـش و رونـد سـهم آمریـکا از تولیـد و صـادرات جهـانی افزایـش می باشـد. نکتـه دیگـری کـه در ایـن دو نمـودار قابـل تشـخیص اسـت، ایـن اسـت کـه در بسـیاری از سـال هـا، سـهم ایـران از صـادرات جهـانی پاییـن تـر از سـهم ایـران از تولیـد جهـانی می باشـد. در حالیکـه ایـن مسـأله بـرای آمریـکا برعکـس اسـت. ایـن موضـوع نشـان دهنـده آنسـت کـه عملکـرد صـادراتی آمریـکا بهتـر از ایـران بـوده و ایـن کشـور توانسـته اسـت سـهم بیشـتری از بـازار جهـانی را از آن خـود نمایـد.



نمودار۵: سهم ایران از تولید و صادرات جهانی در دوره مورد بررسی (۲۰۲۳-۲۰۰۸)



نمودار ۶: سهم آمریکا از تولید و صادرات جهانی در دوره مورد بررسی (۲۰۲۳-۲۰۰۸)

نتایج حاصل از محاسبه شاخص‌های هیلمن (HI)، مزیت نسبی آشکار شده[6] (RCA) و مزیت نسبی آشکارشده متقارن[7] (RSCA) برای چهار کشور صادرکننده عمده پسته (ایران، آمریکا، ترکیه و چین) در جدول ۷ آورده شده است. همانطور که دیده می شود شاخص هیلمن در تمامی سال‌ها برای هر چهار کشور بالاتر از یک می باشد و در نتیجه شرایط استفاده از شاخص‌های RCA و RSCA جهت مقایسه مزیت نسبی صادراتی کشورها حاکم است. لازم به ذکر است که کشورهای دیگری هم چون آلمان، هنگ کنگ و بلژیک نیز در بسیاری از سال‌ها جزو بزرگترین صادرکنندگان پسته محسوب می شوند و در بسیاری از مطالعاتی که در خصوص محاسبات مزیت نسبی صادراتی انجام شده است از جمله Pakravan et al. (2011)، Mehrabi and Neshat (2010) و Hosseini and Rafiee (2008) نیز مد نظر قرار گرفتهاند، اما به دلیل اینکه این کشورها تولیدکننده پسته نیستند و همانطور که قبلا بیان شد، در واقع این کشورها پسته را از کشورهای تولیدکننده ای مثل ایران وارد می نمایند و سپس با اضافه کردن یکسری خدمات بازاریابی هم چون بسته بندی اقدام به صادرات مجدد محصول می نمایند، در محاسبات مربوط به مزیت نسبی مد نظر قرار نگرفتند.

بر اساس محاسبات صورت گرفته، میانگین شاخص RSCA ایران در دوره مورد بررسی برابر با ۰/۹۷ بوده و نشان دهنده این است که ایران دارای مزیت نسبی بالایی در صادرات پسته می باشد. در مطالعات قبلی نیز دیده شده بود که در سالیان قبل از دوره مورد نظر مطالعه حاضر نیز ایران همواره دارای مزیت نسبی صادرات بسیار بالا بوده است. میانگین RSCA کشور آمریکا نیز در دوره مورد نظر برابر با ۰/۵۶ به دست آمده است و این مسأله نشان دهنده وجود مزیت نسبی در این کشور است. البته همانطور که مشاهده می شود، به تدریج مزیت نسبی در کشور آمریکا رو به افزایش می باشد. بطوریکه شاخص RSCA برای این کشور از ۰/۳۶ در سال ۲۰۰۸ به ۰/۷۴ در سال ۲۰۲۳ رسیده است. کشور ترکیه نیز همانند آمریکا دارای مزیت نسبی رو به افزایش می باشد. هر چند که این کشور در برخی از سال‌ها هم چون ۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۴ با عدم مزیت نسبی روبه رو بوده است اما از سال ۲۰۱۴ به بعد روند رو به رشد مزیت نسبی را در پیش گرفته و در سال ۲۰۲۳ شاخص RSCA این کشور به ۰/۶۷ رسیده است. شاخص مزیت نسبی کشور چین روندی معکوس را نشان می دهد بطوریکه این کشور در ابتدا دارای مزیت نسبی بوده اما از سال ۲۰۲۰ به بعد مزیت نسبی صادراتی خود را از دست داده است.

6. Revealed Comparative Advantage
7. Revealed Symmetric Comparative Advantage

جدول ۷: محاسبات مربوط به شاخص های HI، RCA و RSCA

	ایران			آمریکا			ترکیه			چین		
	HI	RCA	RSCA	HI	RCA	RSCA	HI	RCA	RSCA	HI	RCA	RSCA
۲۰۰۸	۱/۹۸	۱۴۹	۰/۹۸	۱۹۱	۲/۱۴	۰/۳۶	۳۸۲	۱/۳۹	۰/۱۶	۳۱۹	۱/۵۹	۰/۲۳
۲۰۰۹	۳/۱	۱۴۴	۰/۹۸	۱۰۷	۳/۴۶	۰/۵۵	۴۳۹	۱/۳۱	۰/۱۳	۲۳۵	۲/۲۸	۰/۳۹
۲۰۱۰	۲/۵	۹۲	۰/۹۷	۱۴۳	۲/۲۴	۰/۳۸	۸۳۴	۰/۵۱	-۰/۲۳	۱۷۳	۲/۲۵	۰/۳۸
۲۰۱۱	۲/۸	۱۱۱	۰/۹۸	۱۵۴	۲/۴۹	۰/۴۲	۵۸۸	۰/۸۸	-۰/۰۶	۱۴۹	۳/۰۹	۰/۵۱
۲۰۱۲	۵/۳	۸۰	۰/۹۷	۸۸	۳/۸۲	۰/۵۸	۴۹۶	۱/۱۴	۰/۰۶	۱۲۰	۴/۰۱	۰/۶۰
۲۰۱۳	۱۱/۶	۴۵	۰/۹۵	۶۹	۴/۵۹	۰/۶۴	۳۳۱	۱/۸۱	۰/۲۹	۱۲۵	۱/۴	۰/۶۱
۲۰۱۴	۲/۱	۱۰۴	۰/۹۸	۱۱۳	۲/۶۴	۰/۴۵	۸۷۳	۰/۴۷	-۰/۳۵	۱۴۶	۲/۵۲	۰/۴۳
۲۰۱۵	۲/۹	۱۱۹	۰/۹۸	۱۲۷	۲/۸۸	۰/۴۸	۳۱۰	۱/۶۷	۰/۲۵	۲۰۰	۲/۳۴	۰/۴۱
۲۰۱۶	۲/۹	۸۴	۰/۹۷	۹۰	۲/۹۶	۰/۴۹	۲۳۰	۱/۶۵	۰/۲۴	۱۴۳	۲/۳۷	۰/۴۱
۲۰۱۷	۳/۳	۸۳	۰/۹۷	۶۰	۴/۱۲	۰/۶۰	۳۵۳	۱/۱۷	۰/۰۷	۱۹۹	۱/۹۱	۰/۳۱
۲۰۱۸	۱۴/۲	۳۲	۰/۹۳	۴۷	۵/۲۳	۰/۶۷	۲۳۰	۲/۱۵	۰/۳۶	۱۶۲	۲/۷۲	۰/۴۶
۲۰۱۹	۴/۶	۷۵	۰/۹۷	۳۶	۵/۴۴	۰/۶۸	۹۷	۴/۱۰	۰/۶	۱۶۰	۲/۳۲	۰/۳۹
۲۰۲۰	۲/۶	۹۸	۰/۹۷	۶۱	۴/۰۴	۰/۶۰	۱۲۴	۳/۱۹	۰/۵۲	۶۲۳	۰/۶۴	-۰/۲۱
۲۰۲۱	۴	۹۱	۰/۹۷	۵۲	۴/۸۶	۰/۶۵	۹۶	۴/۷۹	۰/۶۵	۸۴۵	۰/۵۶	-۰/۲۷
۲۰۲۲	۱۱	۵۰	۰/۹۶	۴۷	۵/۶۹	۰/۷۰	۱۰۱	۵/۵۷	۰/۶۹	۱۶۹۵	۰/۳۵	-۰/۴۷
۲۰۲۳	۶/۸	۶۷	۰/۹۷	۲۹	۶/۷۸	۰/۷۴	۸۶	۵/۲۸	۰/۶۷	۱۸۱۸	۰/۲۷	-۰/۵۷
میانگین	۵/۱	۹۰/۵	۰/۹۷	۸۸/۴	۹۷/۳	۰/۵۶	۳۴۸	۲/۳	۰/۲۵	۴۴۵	۲/۱	۰/۲۲

نتیجه گیری

در یک جمع‌بندی می توان گفت که با وجود مزیت نسبی بالایی که در خصوص صادرات پسته در ایران وجود دارد، اما وضعیت تولید پسته در ایران روند مطلوبی ندارد و به نظر می رسد اگر در زمینه بالابردن سطح زیر کشت و یا عملکرد تولید این محصول چاره اندیشی نشود، در سالیان آتی کشور ترکیه نیز همانند آمریکا در زمینه تولید و صادرات پسته جایگاه ایران را ازآن خود نماید لذا با توجه به پایین بودن عملکرد پسته در ایران توصیه می شود در این زمینه سیاست‌هایی اتخاذ گردد که کشاورزان با روش‌های علمی و اصولی حاکم در دیگر کشورها اقدام به تولید نمایند تا بتوان حداکثر استفاده از ظرفیت های موجود در کشور را به عمل آورد. هم چنین با توجه به اینکه بخش بزرگی از محصول صادراتی ایران توسط کشورهای دیگری هم چون آلمان و هنگ کنگ، صادرات مجدد می شود، لذا توصیه می گردد در زمینه بازاریابی این محصول و انجام خدمات بازاریابی همچون بسته بندی و یا ایجاد صنایع تبدیلی در این رابطه در داخل کشور تسهیلاتی برای سرمایه گذاران فراهم گردد و در خارج از کشور نیز جهت یافتن بازارهای مناسب تر برای این قبیل خدمات بازاریابی مطالعات گستردهای صورت گیرد.

منابع

1. Ahmadi, H., Baaghideh, M. and Dadashi-Roudbari, A. 2021. Climate change impacts on pistachio cultivation areas in Iran: a simulation analysis based on CORDEX-MENA multi-model ensem bles. Theoretical and Applied Climatology, 145(1): 109-120.
2. Aminizadeh, M. Rafiee, H. Riahi, A. and Mehrparvar Hosseini, E. 2014, Pattern of Competitiveness of Pistachios World Premier Exporters in Iran's Importers Market, Agricultural Economics, 8(2): 41-68. (In Persian)
3. Azizi, J. and Yazdani, S. 2006. A Study of Iranian Pistachio Exports: Challenges and Approaches. Journal of Economic Research, 41(3): 217-247. (In Persian)
4. Balassa, B. 1965. Trade liberalization and revealed comparative advantage. Manchester School of Economic and Social Studies, 33: 92-123.
5. Dalum, B., Laursen, K. and Villimsen, G. 1998. Structural change in the OECD export specialization patterns: de-specialization and stickiness. International Review of Applied Economics, 12:423-443.
6. Elloumi, O., Ghrab, M., Kessentini, H. and Mimoun, M. 2013. Chilling accumulation effects on performance of pistachio trees cv. Mateur in dry and warm area climate. Scientia Horticulturae, 159: 80-87.
7. Faraj zadeh, Z. and Bakhshoudeh, M. 2011. Studying Pistachio World Market Structure with Emphasis on Iranian Market Power, Journal of Agricultural Economics and Development, 19 (1): 125- 145. (In Persian)
8. Fathi, Y. 2002. Analysis of the comparative export advantage of different groups of Iranian food industries, Agricultural Economics and Development, 10 (38): 129- 152. (In Persian)
9. Ghorbanian, E. and Esmaili, A. 2017. Examining the competition between Iran and the United States within the framework of multilateral monopoly in the global pistachio market, Agricultural Economics Research, 9 (2): 225-242. (In Persian)
10. Hashemi Nasab, H. Javan Shah, A. Panahi, B. Esmail Pour, A. and Ghasemi, M. 2021. Climate change, global warming and meeting the cooling needs of pistachio trees: challenges and solutions. Pistachio Research Institute Journal.
11. Hillman, A. 1980. Observations on The Relation between Revealed Comparative Advantage and Comparative Advantage as indicated by Pre-trade Relative Price, Weltwirl Schaftliches Archive, 116: 315- 321.
12. Hosseini, H. and Rafiee, H. 2008. Production and Export Comparative Advantage of Iran's Pistachio, Journal of Agricultural Economics & Development, 22 (2): 45- 57. (In Persian)
13. Karbasi, A. and Amini zadeh, M. 2017. Study of factors affecting Iranian pistachio exports with emphasis on the role of trade sanctions, Agricultural Economics Research, 11 (3): 1-22. (In Persian)
14. Laursen, K. 1998. Revealed comparative advantage and the alternatives as measures of international specialization. Department of industrial economics and strategy, Working Paper, pp. 30-98.

15. Liesner, H.H. 1958. The European Common Market and British Industry, Economic Journal, 68: 302-316.
16. Maddala, G.C. Dobson, and Miller, E. 1995. Microeconomics, the regulation of monopoly, Mac Graw-hill, Chapter 1, pp. 185-195.
17. Mehrabi Boshr abadi, H. 2002. Study of factors affecting Iran's share of the global pistachio market, Journal of Agricultural Economics and Development, 10: 85-102. (In Persian)
18. Mehrabi, H. and Neshat, A. 2010. Investigation of Effective Factors on Iran's Comparative Advantage in Pistachio Export and Ranking of its Target Markets, Journal of Trade Studies, 14(55): 213- 233. (In Persian)
19. Mohammadi, H. and Sakhi Hani, F. 2015. Factors affecting the supply of pistachio exports in Iran, Agricultural Economics Research, 7 (2): 63-81. (In Persian)
20. Mohammadi, H. and Bahrami Nasab, M. 2013. Assessment of Effective Factors on Supply and Demand of Iran's Pistachios Export (Vector Auto Regression Approach), Agricultural Economics, 7 (4): 23-42. (In Persian)
21. Pakravan, M., Mehrabi, H., Gilan pour, O. and Esmaili, F. 2011. Studying Iranian Pistachio Export Position:Comparative Advantage and Trading Map Approach, Journal of Agricultural Economics and Development, 19 (4): 1-26. (In Persian)
22. Salarpour, M., Mojarad, S. and Sabouhi, M. 2014. Production and Trade Situation in Iran and USA and Impact of Exchange rate Volatility on the Exports, Journal of Agricultural Economics & Development, 28 (3): 224-234. (In Persian)
23. Sharzehi, G. and Ghanbari, R. 2000, Estimation of Pistachio Export Demand and Supply Functions Using a System of Simultaneous Equations. Proceedings of the Third Iranian Agricultural Economics Conference.
24. Tirole, J. 2002, The theory of Industrial Organization, Cambridge, MA: MIT Press.
25. Vollrath, T.L. 1991. A theoretical evaluation of alternative trade industry measures of revealed comparative advantage. Weltwirtshaftliches Archiv. 127: 265-280.
26. Yeats, A. 1985. On the appropriate interpretation of the Revealed comparative advantage index; Implications of a methodology based on industry sector analysis, Weltwirl schaftliches Archive, 121: 61- 73.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

Evaluation of the Efficacy of Nanoparticles and Commercial Fungicides in Inhibiting Collar and Root Rot Pathogens in Pistachio Trees

Jalal Shabani [1] , Fatemeh Hassanzadeh Davarani [2*] , Amir Hossein Mohammadi [3]

1. M.Sc. Graduate of Plant Pathology, Raf.C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran

2. * Department of Plant Pathology, Raf.C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran.

3. Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

*Corresponding author: Fatemeh Hassanzadeh Davarani, E-mail address: fa.hassanzadeh3535@iau.ac.ir

Recieved:2025/9/4 Accepted :2025/9/17

Abstract

Crown and root rot is one of the most prevalent diseases affecting pistachio trees in Iran, primarily caused by various species of the genus *Phytophthora*. This study investigated the effects of chitosan, copper nanoparticles, chitosan-copper nanoparticles, and registered fungicides including copper oxychloride, fosetyl-aluminum, and metalaxyl-mancozeb at concentrations of 0, 10, 50, 100, 500, 1000, and 2000 ppm on radial growth, sporangium production, and zoospore formation of two pathogenic species: *Phytophthora drechsleri* (Pd) and *Ph. citrophthora* (Pc) under in vitro conditions. Radial growth was assessed using V8 agar medium, while sporangium production was evaluated on LBA medium. The results revealed that increasing fungicide concentrations significantly reduced radial growth, sporangium production, and zoospore formation in both species. The lowest radial growth of Pd was observed with copper oxychloride treatment, whereas the highest was recorded with chitosan and chitosan-copper nanoparticle treatments. The minimum sporangium counts for Pd occurred at 1000 and 2000 ppm. For Pc, the lowest radial growth was found in fosetyl-aluminum treatment, while the highest was in copper and copper-chitosan nanoparticle treatments. Zoospore production was lowest in treatments with chitosan, copper nanoparticles, and copper-chitosan nanoparticles at concentrations ranging from 500 to 2000 ppm. Based on these findings, copper oxychloride demonstrated the most effective inhibition of vegetative growth, sporangium production, and zoospore formation in both Pd and Pc, suggesting its potential as a promising agent for managing pistachio crown and root rot disease.

Keywords: copper nanoparticle, chitosan, Fungicide, Management, *Phytophthora*

Published by Islamic Azad University, Rafsanjan .This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Extended Abstract

Introduction

Crown and root rot is one of the most prevalent and economically damaging diseases affecting pistachio trees in Iran. The disease is primarily caused by various species of the genus *Phytophthora*, with *Phytophthora drechsleri* (Pd) and *Ph. citrophthora* (Pc) being the most aggressive and widespread pathogens in pistachio orchards. Traditional chemical fungicides have been widely used to manage this disease, but concerns regarding environmental safety, pathogen resistance, and sustainability have led researchers to explore alternative control strategies. Biocompatible compounds such as chitosan and nanomaterials like copper nanoparticles (CuNPs) have shown promising antimicrobial properties and potential for eco-friendly disease management. This study aimed to evaluate the effects of chitosan, CuNPs, chitosan–copper nanocomposites, and registered fungicides—including copper oxychloride, fosetyl-aluminum, and metalaxyl–mancozeb—on the radial growth, sporangium production, and zoospore formation of Pd and Pc under in vitro conditions.

Materials and Methods

The experiment was conducted under laboratory conditions using two pathogenic *Phytophthora* species: Pd and Pc. Treatments included chitosan, copper nanoparticles, chitosan–copper nanocomposites, and three registered fungicides: copper oxychloride, fosetyl-aluminum, and metalaxyl–mancozeb. Each compound was tested at concentrations of 0 (control), 10, 50, 100, 500, 1000, and 2000 ppm. Radial growth was assessed using V8 agar medium, while sporangium production was evaluated on LBA medium. Zoospore formation was quantified through microscopic examination after incubation in sterile distilled water. All treatments were applied to fungal cultures, and measurements were taken at defined intervals. Each experiment was performed in triplicate, and data were analyzed using ANOVA to determine significant differences among treatments and concentrations.

Results and Discussion

The results revealed that increasing concentrations of fungicides and nanoparticle-based treatments significantly reduced radial growth, sporangium production, and zoospore formation in both Pd and Pc. For Pd, the lowest radial growth was observed with copper oxychloride treatment, while the highest was recorded with chitosan and chitosan–copper nanoparticle treatments. Sporangium production in Pd was most effectively suppressed at 1000 and 2000 ppm, particularly with copper oxychloride. For Pc, the lowest radial growth was found in fosetyl-aluminum treatment, whereas the highest was observed in copper and copper–chitosan nanoparticle treatments. Zoospore production was lowest in treatments with chitosan, copper nanoparticles, and chitosan–copper nanocomposites at concentrations ranging from 500 to 2000 ppm. These findings suggest that while nanomaterials may have moderate effects on mycelial growth, they significantly interfere with reproductive structures, which are critical for disease dissemination. Overall, copper oxychloride emerged as the most effective treatment across both species, demonstrating strong antifungal activity in suppressing vegetative growth and reproductive capacity. Chitosan and nanoparticle-based treatments also showed promising results, particularly in reducing zoospore formation. These results support the potential integration of nanomaterials and biocompatible agents into pistachio disease management programs, offering sustainable alternatives to conventional fungicides.

Conclusion

This study demonstrated that copper oxychloride is the most effective agent in inhibiting the growth and sporulation of *Ph. drechsleri* and *Ph. citrophthora* under in vitro conditions. Chitosan, copper nanoparticles, and chitosan–copper nanocomposites also exhibited significant antifungal activity, especially in suppressing zoospore formation at higher concentrations. The integration of conventional fungicides with nanotechnology-based treatments could enhance disease control strategies in pistachio orchards. Such approaches may lead to more sustainable and efficient management of crown and root rot, minimizing environmental risks and improving crop health. Further research is recommended to evaluate field performance, formulation stability, and long-term safety of these treatments.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

بررسی اثربخشی نانوذرات و قارچ‌کش‌های تجاری در مهار رشد عوامل پوسیدگی طوقه و ریشه درختان پسته

جلال شعبانی[۱]، فاطمه حسن زاده داورانی[۲*]، امیرحسین محمدی[۳]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد بیماری شناسی گیاهی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران.

۲. *گروه بیماری شناسی گیاهی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران.

۳. پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

*نویسنده مسئول: فاطمه حسن زاده داورانی. آدرس پست الکترونیک: fa.hassanzadeh3535@iau.ac.ir

دریافت : ۱۴۰۴/۶/۱۳ پذیرش : ۱۴۰۴/۶/۲۶

چکیده

پوسیدگی طوقه و ریشه یکی از بیماری‌های رایج درختان پسته در ایران است که عامل آن گونه‌های مختلف جنس *Phytophthora* می‌باشند. در این پژوهش، اثر کیتوزان، نانوذره مس، نانوذره کیتوزان-مس و قارچ‌کش‌های ثبت شده شامل اکسی‌کلرور مس، فوزتیل آلومینیوم و متالاکسیل-مانکوزب در غلظت‌های صفر، ۱۰، ۵۰، ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام بر رشد شعاعی، تولید اسپورانژیوم و زئوسپور دو گونه بیمارگر Pd (*Ph. drechsleri*) و Pc (*Ph. cit-rophthora*) در شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی رشد شعاعی از محیط کشت V8 و برای بررسی تولید اسپورانژیوم از محیط LBA استفاده شد. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت قارچ‌کش‌ها، رشد شعاعی، تولید اسپورانژیوم و زئوسپور در هر دو گونه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. کم ترین رشد شعاعی Pd در تیمار اکسی‌کلرور مس و بیش ترین آن در تیمارهای کیتوزان و نانوذره کیتوزان-مس مشاهده شد. همچنین کمترین تعداد اسپورانژیوم Pd در غلظت‌های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام به‌دست آمد. در مورد Pc، کمترین رشد شعاعی در تیمار فوزتیل آلومینیوم و بیشترین آن در تیمارهای نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان مشاهده گردید. در تیمارهای کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان، کمترین تعداد زئوسپور در غلظت‌های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی‌پی‌ام ثبت شد. بر اساس یافته‌ها، تیمار اکسی‌کلرور مس بیشترین تأثیر را در کاهش رشد رویشی، تولید اسپورانژیوم و زئوسپور گونه‌های Pd و Pc نشان داد و می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ای مؤثر در مدیریت بیماری پوسیدگی طوقه و ریشه پسته مطرح گردد.

کلمات کلیدی: نانو ذره مس، کیتوزان ، قارچ کش، ،مدیریت، فیتوفتورا

انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد با گواهی CC BY-NC ۴.۰ صورت گرفته است.

/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

مقدمه

گیاه پسته (*Pistacia vera* L.) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین محصولات باغی و سومین کالای صادراتی غیرنفتی ایران، از جایگاه اقتصادی ویژه‌ای در میان محصولات کشاورزی برخوردار است. کیفیت ممتاز پسته ایرانی در میان کشورهای تولیدکننده، آن را به محصولی مرغوب و استراتژیک در صادرات تبدیل کرده است که حفظ جایگاه جهانی آن نیازمند تلاش‌های مستمر می‌باشد (Ghasemi and Soozani, 2008). با توجه به مشکلات ناشی از وابستگی اقتصاد ایران به صادرات نفت، اهمیت صادرات محصولات غیرنفتی روزافزون است. یکی از مهم‌ترین منابع تأمین ارز کشور، صادرات محصولات کشاورزی از جمله پسته می‌باشد. پسته نه تنها منبعی مهم برای ارزآوری محسوب می‌شود، بلکه به دلیل ویژگی‌های بالقوه‌ای مانند مقاومت نسبی به خشکی و شوری خاک و آب، محصولی مناسب برای مناطق کویری و خشک ایران به‌شمار می‌رود (Abrishami, 1994). بر اساس آمار سال ۱۳۹۶، سطح زیر کشت باغ‌های پسته در ایران ۴۷۹,۳۶۸ هکتار بوده که از این میزان، ۳۷۶,۷۲۶ هکتار باغ‌های بارور و ۱۰۲,۶۴۲ هکتار باغ‌های غیر بارور بوده‌اند. تولید پسته در این سال ۳۱۷,۴۸۵ تن گزارش شده و میانگین عملکرد آن ۸۴۳ کیلوگرم در هکتار بوده است. استان‌های کرمان، خراسان رضوی، یزد، فارس، سمنان، خراسان جنوبی، قم، مرکزی، سیستان و بلوچستان، تهران و اصفهان از جمله استان‌های عمده تولیدکننده پسته هستند (Ahmadi et al., 2018). از مهم‌ترین بیماری‌های درختان پسته در ایران می‌توان به پوسیدگی فیتوفتورایی طوقه و ریشه، نماتد مولد گره ریشه و پژمردگی ورتیسلیومی اشاره کرد. بیماری پوسیدگی فیتوفتورایی که در میان باغداران با نام «شیره سیاه» شناخته می‌شود، در شرایط مساعد موجب خسارت شدید به درختان بارور و غیر بارور می‌گردد. در برخی باغ‌های منطقه رفسنجان، میزان مرگ‌ومیر ناشی از این بیماری تا ۱۱ درصد و به‌طور متوسط ۲,۷ درصد گزارش شده است (Mirabolfathi et al., 1989). گونه‌های مختلفی از جنس *Phytophthora* از مناطق پسته‌کاری کشور از جمله: *P. drechsleri*, *P. citrophthora*, *P. cryptogea*, *P. nicotianae*, *P. parsiana*, *P. pistaciae*, *P. melonis* گزارش شده‌اند (Bani-Hashemi, 1989). در حال حاضر، برای مدیریت این بیماری، تلفیقی از روش‌های زراعی مانند مدیریت آبیاری و اصلاح بافت خاک جهت بهبود نفوذپذیری آب پیشنهاد شده است (Moradi, and Masoumi, 2011). با این حال، استفاده از قارچ‌کش‌هایی مانند فوزتیل آلومینیوم در زمان مناسب برای کنترل بیماری ضروری است (Moradi et al., 2017). استفاده از ترکیبات شیمیایی همواره با محدودیت‌هایی همراه بوده است؛ از جمله دوام پایین، عدم محافظت بلندمدت، و اختلال در تعادل میکروبی خاک که می‌تواند موجب افزایش فعالیت عوامل بیماری‌زا گردد (Zafari, 1991). کاهش تعداد قارچ‌کش‌های مؤثر و تأییدشده، نگرانی‌های زیست‌محیطی و بهداشتی، و توسعه مقاومت در پاتوژن‌های هدف (Kuck and Gisi, 2007)، در کنار سهم پایین آفت‌کش‌های با منشأ گیاهی و میکروبی در بازار (Greaves, 2011)، ضرورت تحقیق در روش‌های جایگزین را نمایان می‌سازد (Deliopoulos et al., 2010). در این راستا، استفاده از ترکیبات بیولوژیک فاقد اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی که بتوانند پیش از مواجهه با عامل بیماری‌زا، مکانیسم‌های دفاعی گیاه را فعال کنند، اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از این ترکیبات، کیتوزان است؛ پلیمری طبیعی، غیرسمی و با منشأ حیوانی که از داستیله شدن کیتین حاصل می‌شود و دارای دو عملکرد هم‌زمان در توقف رشد میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و فعال‌سازی پاسخ‌های دفاعی گیاه می‌باشد (Saharan et al., 2013). هم چنین فناوری نانو به عنوان رویکردی نوین در کنترل عوامل بیماری‌زا، با غلبه بر محدودیت‌های اندازه مواد، چشم‌انداز جدیدی در علم ایجاد کرده است. نسبت سطح به حجم بالا و خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به‌فرد نانوذرات، تماس آن‌ها با میکروب‌ها را افزایش می‌دهد. فعالیت ضد میکروبی نانوذراتی مانند نقره، مس ، دی‌اکسید تیتانیوم و اکسید روی به اثبات رسیده و تأثیر آن‌ها بر قارچ‌ها، باکتری‌ها و ویروس‌ها مورد توجه قرار گرفته است. توجه به اهمیت بیماری گموز در درختان پسته و میزان خسارت آن، استفاده از روش‌های تلفیقی شامل مدیریت آبیاری، ضدعفونی طوقه‌های آلوده با قارچ‌کش‌هایی مانند مخلوط بردو و اکسی‌کلراید مس، و سم‌پاشی اندام‌های هوایی با قارچ‌کش‌های سیستمیک مانند الیت توصیه می‌شود. با این حال، حذف کامل بیماری در باغ امکان‌پذیر نیست و باقی‌ماندن سموم در محصول می‌تواند منجر به برگشت محموله‌های صادراتی گردد. یکی از راهکارهای مؤثر، استفاده از ارقام مقاوم (Moradi et al., 2012) یا مقاوم‌سازی نهال ها است (Esmaeilpour et al., 2016). با توجه به زمان‌بر بودن تولید ارقام مقاوم، استفاده از محرک‌های شیمیایی مانند کیتوزان و نانوذرات

مس می‌تواند با هزینه‌ای کمتر، مقاومت نهال‌ها را افزایش داده و خسارت بیماری را کاهش دهد. از آنجا که فرموله‌سازی کیتوزان به‌صورت نانوذرات موجب افزایش فعالیت ضد میکروبی آن می‌شود، و با توجه به خاصیت ضد قارچی نانوذرات مس، هدف این تحقیق بررسی تأثیر ترکیب کیتوزان، نانوذره اکسید مس و نانوکامپوزیت کیتوزان–مس بر بازدارندگی دو گونه *Ph. drechsleri* و*P. citrophthora* عامل بیماری گموز پسته می‌باشد.

مواد و روش ها

تهیه جدایه های قارچی

در این تحقیق از دو گونه قارچ *Phytophthora drechsleri* (Pd) ، *P. citrophthora* (Pc) موجود در کلکسیون قارچ پژوهشکده پسته که قبلاً از درختان پسته جمع آوری و شناسایی شده بودند، استفاده گردید. برای کشت این قارچ ها از محیط کشت عصاره هشت سبزی-آگار (V8 juice agar) استفاده شد.

تهیه محیط کشت برای کشت و نگهداری گونه های فیتوفتورا

محیط کشت V8

برای تهیه محیط کشت V8 ابتدا آب سبزیجات شرکت سنیچ را تهیه کردیم.سپس به ازای هر لیتر از آب سبزیجات ۱۵ گرم اکسید کلسیم را اضافه کرده و جوشاندیم. و در ادامه پس از خنک شدن مایع آن را در ۳۵۰۰rpm سانتریفیوژ کرده تا اکسید کلسیم و ذرات اضافی را جدا کرده و محلول شفافی حاصل شد. ۲۰۰ میلی‌لیتر از محلول حاصل را به حجم یک لیتر رسانده و با اضافه کردن ۱۸ گرم آگار از شرکت Q-lab در اتوکلاو با دمای۱۲۱درجه سانتی گراد و فشار ۱۵ پوند بر اینچ مربع به مدت ۲۰ دقیقه استریل گردید.

نحوه ی نگهداری جدایه های قارچ *Phytophthora*

برای نگهداری ایزوله های قارچ ۳۰ میلی لیتر محیط کشت V8 را در فالکون تیوب های ۵۰ میلی لیتری ریخته و پس از بستن کامل محیط کشت به صورت شیب دار و پس از گذشت یک شبانه روز با استفاده از چوب پنبه سوراخ کن یک دیسک ۵ میلی متری را در میانه محیط کشت قرار داده و فالکون تیوب ها را پس از انکوبه کردن در یخچال نگهداری شد.

تهیه و انتخاب قارچ کش ها،کیتوزان و نانو ذرات

در این تحقیق از قارچ کش های الیت، اکسی کلرور مس و فاکومیل و کیتوزان از شرکت sigma و نانو ذره اکسید مس(Cuo) از شرکت sigma و نانو ذره مس-کیتوزان با غلظت های مختلف روی رشد رویشی و تعداد اسپورانژیوم قارچ *Phytophthora drechsleri* و *P. citrophthora* استفاده شد.

تهیه نانو ذره مس-کیتوزان

به منظور تهیه نانو ذره مس-کیتوزان از دو روش استفاده گردید. در روش jaiswal (2012) ۱ گرم کیتوزان را در ۱۰۰ میلی لیتر استیک اسید ۵٪ (v/v)بر روی مگنت استیرر به مدت دو ساعت حل کرده و سپس ۳ گرم سولفات مس را به محلول کیتوزان اضافه کردیم.به منظور حل شدن کامل سولفات مس با قطره چکان چند قطره از NaOH ۲ مولار را به محلول اضافه کرده تا کاملا سولفات مس واکنش دهد. و در ادامه پس از صاف کردن محصول بدست آمده با کاغذ صافی استریل و شست وشو نانو ذره با آب مقطر استریل، به مدت یک شب در آون با دمای ۶۰ درجه قرار داده شد تا نانو ذره به طور کامل خشک شود. (Jaiswal., et al., 2012). در روش Saharan (2013) ۰/۱ گرم کیتوزان را در ۱۰۰ میلی لیتر استیک اسید ۱٪ (v/v) بر روی مگنت استیرر به مدت ۲۴ ساعت حل کرده و سپس ۰/۱ گرم سولفات مس را به محلول کیتوزان اضافه شد. و در ادامه ۱ گرم از TPPرا در ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر استریل حل کرده و با قطره چکان بر روی استیرر به محلول کیتوزان و

مس اضافه کرده تا محلول به شکل ابری در آید. و پس از ۱۰ دقیقه هم خوردن محلول به منظور رسیدن به یک محلول یک نواخت،نانو ذره را در ۱۰۰۰ rpm سانتریفیوژ کرده و پس از آب شویی در آون در دمای ۶۰ درجه خشک شد. به منظور حل شدن کامل سولفات مس با قطره چکان چند قطره از NaOH ۲ مولار را به محلول اضافه کرده تا کاملا سولفات مس واکنش دهد. و در ادامه پس از صاف کردن محصول بدست آمده با کاغذ صافی استریل و شست و شو نانو ذره با آب مقطر استریل، به مدت یک شب در آون با دمای ۶۰ درجه قرار داده شد تا نانو ذره به طور کامل خشک شد. (Saharan et al., 2015)

ررسی ساختار نانو ذره مس-کیتوزان با استفاده از میکروسکوپ الکترونی(SEM)

برای بررسی ساختار نانو ذره و اندازه گیری قطر نانو ذرات نمونه ها برای میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (FE-SEM) بنیاد علوم کاربردی رازی مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN دارای قدرت تفکیک در حد ۱nm/۵ در ولتاژ ۱۵KV و۴nm/۵ در ولتاژ ۱KV ارسال شد.

تهیه غلظت های مختلف قارچ کش ها ،کیتوزان و نانو ذرات در آزمایشگاه

ی به منظور بررسی تاثیر قارچ کش ها، کیتوزان و نانو ذرات روی رشد رویشی و تعداد اسپورانژیوم در قارچ فیتوفتورا غلظت های ۱۰ ppm، ۵۰ ppm، ۱۰۰ ppm، ۵۰۰ ppm، ۱۰۰۰ ppm، ۲۰۰۰ ppm از هر یک از مواد در آزمایشگاه تهیه گردید. غلظت صفر به عنوان شاهد در نظر گرفته شد.

تهیه محیط کشت حاوی قارچ کش، کیتوزان و نانو ذرات جهت اندازه گیری رشد رویشی

به منظور مخلوط غلظت های مختلف قارچ کش، کیتوزان و نانو ذرات با محیط کشت V8 ابتدا محیط کشت آماده شده و پس از استریلیزاسیون با استفاده از اتوکلاو، محیط های کشت را در محیط آزمایشگاه (دمای تقریبی ۴۵ درجه سانتی گراد)خنک کرده و غلظت های مواد به محیط کشت موجود در ارلن ها اضافه گردید. به این ترتیب غلظت های مورد نیاز تهیه و مخلوط به دست آمده جهت یکنواخت شدن به آرامی تکان داده شد. درنهایت محتوی هر ارلن در۳ پتری دیش استریل ۸ سانتیمتری ریخته شد. دراین روش برای هرکدام از غلظت های مواد (تیمار)، سه پتری دیش (تکرار) درنظرگرفته شد

کشت جدایه فیتوفتورا روی محیط کشت

پس از بستن محیط های کشت و گذشت یک روز (۲۴ ساعت) از ریختن محیط کشت در پلیت های استریل به کمک نیدل (سوزن) و در کنار شعله و با رعایت شرایط استریل با استفاده از چوب پنبه سوراخ کن یک دیسک ۵ میلی متری را از روی پرگنه جوان (حداکثر ۴ روز) برداشته شد و به آرامی در مرکز پلیت های حاوی مقدار مشخص از قارچ کش ها،کیتوزان و نانو ذرات قرار داده شد.

اندازه گیری رشد رویشی قارچ فیتوفتورا روی محیط کشت

پس از کشت قارچ روی محیط کشت های دارای غلظت های مختلف قارچ کش ها،کیتوزان و نانو ذرات،پلیت ها درون انکوباتور در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد نگهداری شدند. رشد رویشی (قطر پرگنهها) قارچ پس از ۴ روز توسط خط کش اندازه گیری و بر حسب میلی متر محاسبه گردید.

شمارش تعداد اسپورانژیوم و زئوسپور

برای تولید اسپورانژیوم گونه های مختلف فیتوفتورا، قارچ ها در تشتک های پتری دیش حاوی محیط LBA(Lima Bean Agar) کشت داده شده و سپس ۱۰ عدد بلوک ۵ میلی متری از حاشیه پرگنه های جوان تهیه شده و پس از انتقال به تشتک های حاوی غلظت های مختلف از قارچ کش ها ، کیتوزان ، نانو ذره اکسید مس و نانو ذره مس

کیتوزان در آب مقطر، زیر نور فلورسنت قرار گرفتند.در فواصل زمانی مختلف تولید اسپورانژیوم در دیسک های محیط LBA مورد بررسی قرار گرفت.برای مشاهده و شمارش تعداد اسپورانژیوم تولید شده، هر یک از بلوک های کلنیزه شده محیط LBA برداشته شده و داخل یک قطره محلول اسید فوشین در لاکتوفنل و در مرکز لام قرار داده شدند. پس از گذاشتن یک عدد لام روی بلوک،لام چندین بار از روی شعله ملایم چراغ گازی عبور داده شد تا محیط کشت ذوب و به صورت یکنواخت پخش گردد.برای شمارش تعداد اسپورانژیوم های تولید شده در هر یک از غلظت ها ،از ۵ عدد دیسک محیط LBA و در هر لام نیز حداقل ۵ نقطه با بزرگ نمایی ۴۰۰x مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی تاثیر غلظت های قارچ کش ها ، کیتوزان ، نانو ذره اکسید مس و نانو ذره مس-کیتوزان بر آزاد سازی زئوسپورها، مانند روش تولید اسپورانژیوم عمل گردید. پس از تولید مقادیر کافی از اسپورانژیوم گونه های مختلف فیتوفتورا را روی دیسک های محیط LBA و به منظور آزاد شدن زئوسپور، تشتک های پتری به مدت ۳۰ دقیقه به یخچال با دمای ۵ درجه سانتی گراد منتقل شده و پس از آن در دمای اتاق نگهدار یگردیدند. تعدا زئوسپور های رها شده با استفاده از لام گلبول شمار شمارش گردید.

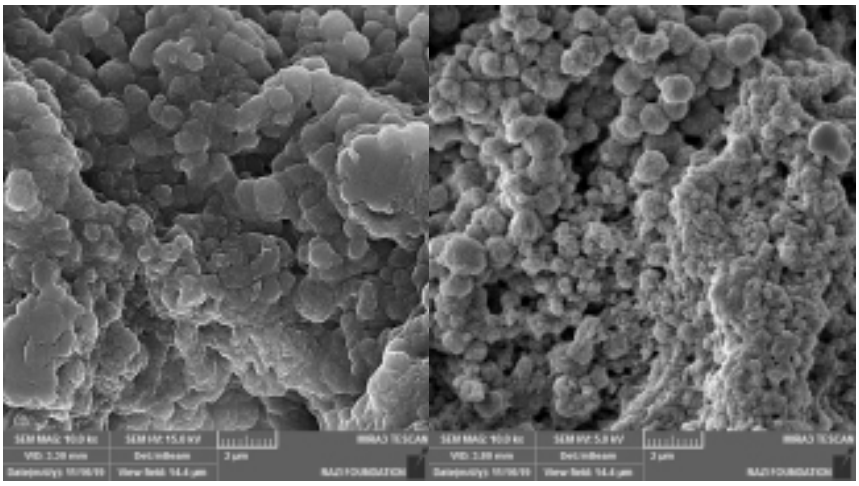
محاسبات آماری

این تحقیق به صورت یک طرح کاملاً تصادفی در قالب فاکتوریل با دو فاکتور نوع و غلظت قارچ کش و یا تیمار در پنج تکرار انجام شد. در این تحقیق اثر قارچ کش های الیت، اکسی کلرور مس و فاکومیل، کیتوزان ،نانوذره مس (CuO) و نانو ذره مس/ کیتوزان در هفت غلظت بر دو جدایه از قارچ فیتوفتورا عوامل پوسیدگی فیتوفتورایی طوقه و ریشه درختان پسته بررسی گردید. غلظت صفر به عنوان شاهد و مبین محیط کشت هایی است که در آن هیچ میزان از سم یا ترکیب شیمیایی به کار نرفته است و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS داده ها مورد بررسی قرار گرفت و گروه بندی میانگین های داده ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح ۱٪ α=محاسبه گردید.

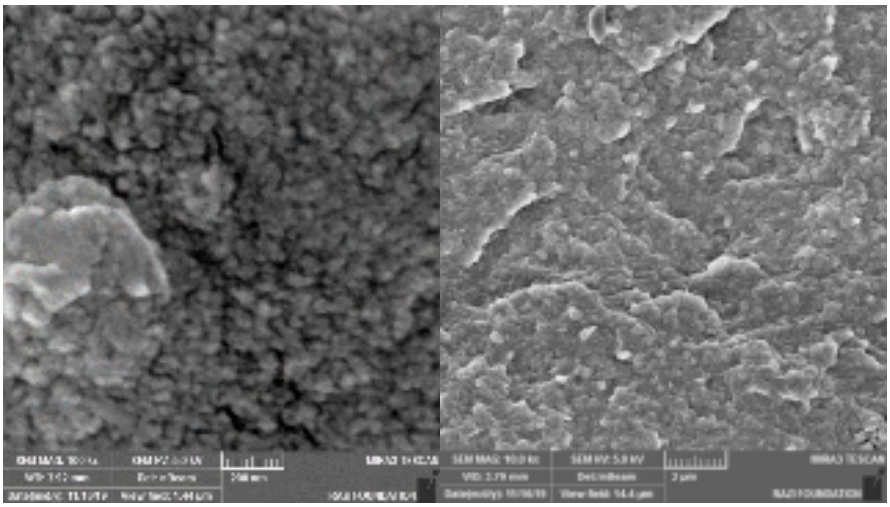
نتایج و بحث

نتایج بررسی ساختار نانو ذره مس-کیتوزان با میکروسکوپ الکترونی(SEM)

بررسی ساختار نانو ذره مس-کیتوزان نشان داد که قطر و اندازه نانو ذره در روش Jaiswal (2012) در بزرگ نمایی ۵۰۰۰ برابر طبق شکل ۱ نتیجه مطلوبی داشته و فرآیند نانو شدن نانو ذره مس-کیتوزان را تایید می کند و هم چنین طبق شکل ۲ نانو ذره مس-کیتوزان به روش Saharan (2013) نانو ذره تشکیل شده است. اما روش Jaiswal با مقایسه با تصویر نانو ذره در مرجع با کیفیت مطلوب تر مورد بررسی قرار گرفت.



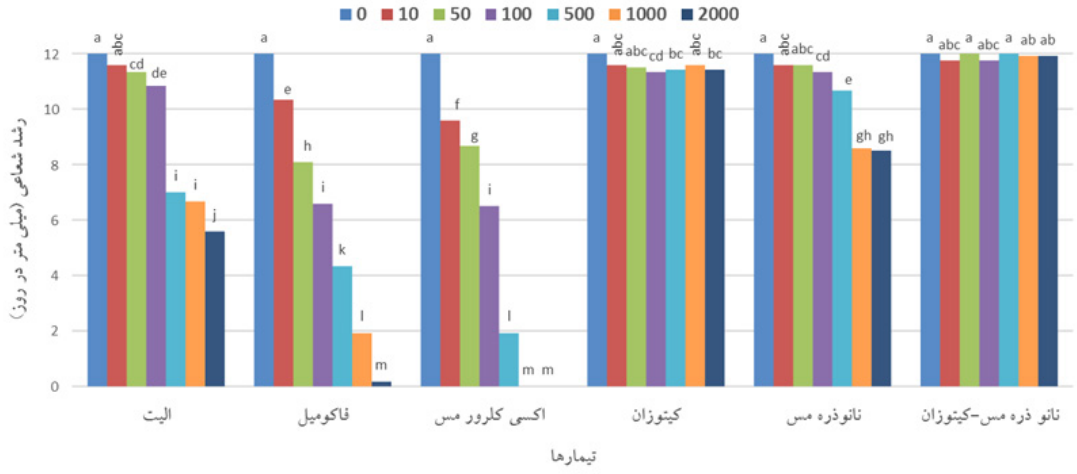
شکل۱- عکس میکروسکوپ الکترونی (SEM) نانو ذره مس کیتوزان به روش Jaiswal



شکل۲- عکس میکروسکوپ الکترونی (SEM) نانو ذره مس کیتوزان به روش Saharan

تاثیر غلظت های مختلف قارچکشی روی رشد رویشی ***Phytophthora drechsleri***

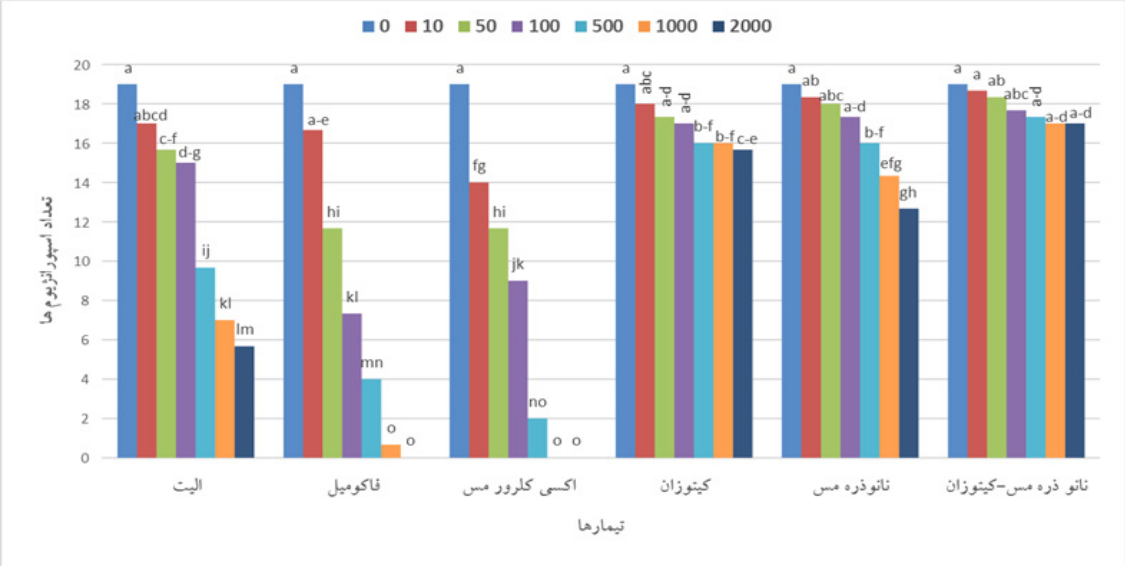
میـزان رشـد شـعاعی Pd در غلظت‌هـای مختلـف تیمارهـای قارچکشـی نشـان داده شـده اسـت. در تیمـار الیـت رشـد شـعاعی Pd در غلظـت ۱۰ پـی پـی ام تفـاوت معنـی‌داری را بـا شـاهد نشـان نـداد امـا از غلظـت ۵۰ پـی پـی ام بـه بعـد رشـد شـعاعی بـه طـور معنـی داری کاهـش یافـت.در دو تیمـار فاکومیـل و اکسـی کلـرور مـس بـا افزایـش غلظـت، میـزان رشـد شـعاعی Pd بـه طـور معنـی داری کاهـش یافتـه بـه طوریکـه در غلظـت ۲۰۰۰ پـی پـی ام تقریبـاً رشـد شـعاعی Pd متوقـف گردیـد. در تیمارهـای کیتـوزان و نانـوذره مـس نیـز کاهـش معنـی دار رشـد شـعاعی Pd در غلظـت ۵ و ۱۰ پـی پـی ام تفـاوت معنـی داری را در سـطح ۱ درصـد بـا شـاهد نشـان نـداد. در تیمـار کیتـوزان رشـد شـعاعی Pd در غلظـت هـای ۱۰۰، ۵۰۰ و ۲۰۰۰ پـی پـی ام بـه طـور معنـی داری کمتـر از شـاهد بـود امـا در غلظـت ۱۰۰۰ میلی‌گـرم در لیتـر تفاوتـی بـا شـاهد مشـاهده نگردیـد (نمـودار ۱). در تیمـار نانـوذره مـس از غلظـت ۱۰۰ پـی پـی ام بـه بعـد رشـد شـعاعی Pd بـه طـور معنـی داری در مقایسـه بـا شـاهد کاهـش یافـت. همچنیـن در کلیـه غلظت‌هـای تیمـار نانـوذره مس-کیتـوزان رشـد شـعاعی Pd هیچگونـه اخـتلاف معنـی‌داری را بـا شـاهد در سـطح ۱ درصـد نشـان نـداد.



نمـودار ۱-تاثیـر غلظـت هـای مختلـف الیـت، فاکومیـل، اکسـی کلرورمـس، کیتـوزان، نانـوذره مـس و نانـوذره مس-کیتـوزان بـر رشـد شـعاعی *Ph. drechsleri*. سـتون هـای دارای حـروف مشـترک طبـق آزمـون دانکـن در سـطح ۱ درصـد اخـتلاف معنـی‌داری ندارند.

تاثیر غلظت های مختلف قارچ کشی بر تولید اسپورانژیوم *Phytophthora drechsleri*

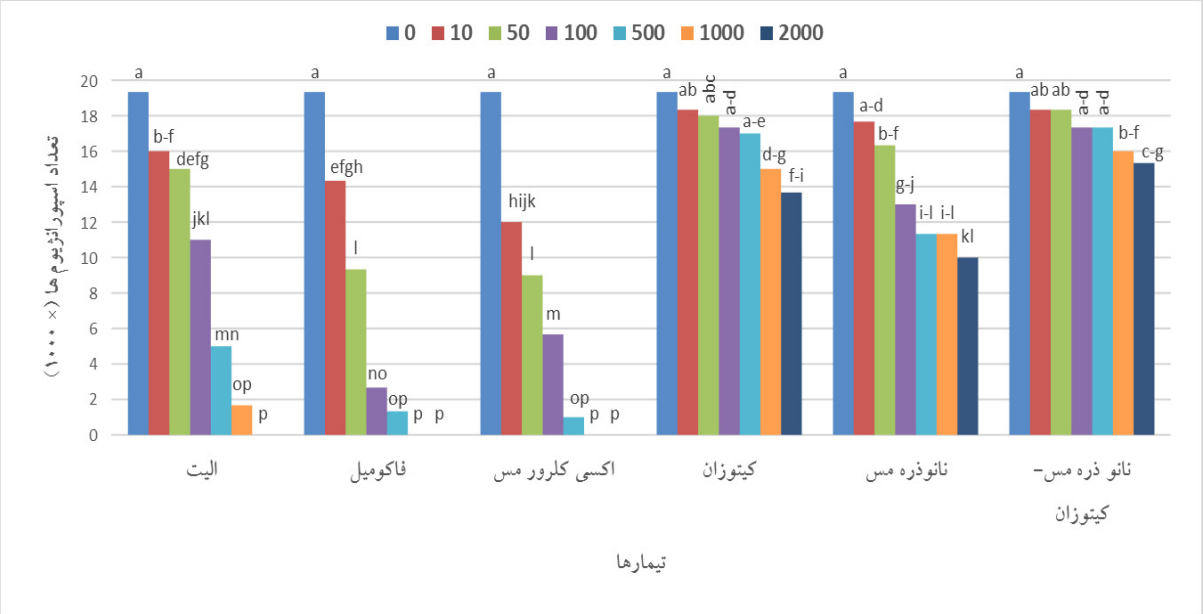
غلظت های مورد استفاده موجب کاهش معنی‌دار تعداد اسپورانژیوم های Pd شده و در دو غلظت ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام تولید اسپورانژیوم ها به طور کامل متوقف گردید (نمودار ۲). در دو تیمار کیتوزان و نانوذره مس تعداد اسپورانژیوم های Pd در غلظت های ۵، ۱۰ و ۱۰۰ پی پی ام با وجود نشان دادن روند کاهشی، اختلاف معنی داری را با شاهد نشان ندادند. در تیمار کیتوزان، تعداد اسپورانژیوم ها در غلظت های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام، بدون اینکه اختلاف معنی داری با یکدیگر نشان دهند دارای تفاوت معنی‌دار با شاهد و سایر تیمارها بودند، اما در تیمار نانوذره مس روند کاهش تعداد اسپورانژیوم های Pd هم چنان کاهشی و دارای اختلاف معنی دار با سایر غلظت ها و شاهد بود (نمودار ۲). در تیمار نانوذره مس-کیتوزان روند کاهش تعداد اسپورانژیوم های Pd در مقایسه با شاهد در اثر افزایش غلظت مشاهده شده اما در هیچ یک از این غلظت‌ها، تعداد اسپورانژیوم ها اختلاف معنی‌داری را با شاهد نشان نداد.



نمودار ۲- تاثیر غلظت های مختلف الیت، فاکومیل، اکسی کلورمس، کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان بر تعداد اسپورانژیوم های *Ph. drechsleri*. ستون های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

تاثیر غلظت های مختلف قارچ کش ها بر تولید زئوسپور *Phytophthora drechsleri*

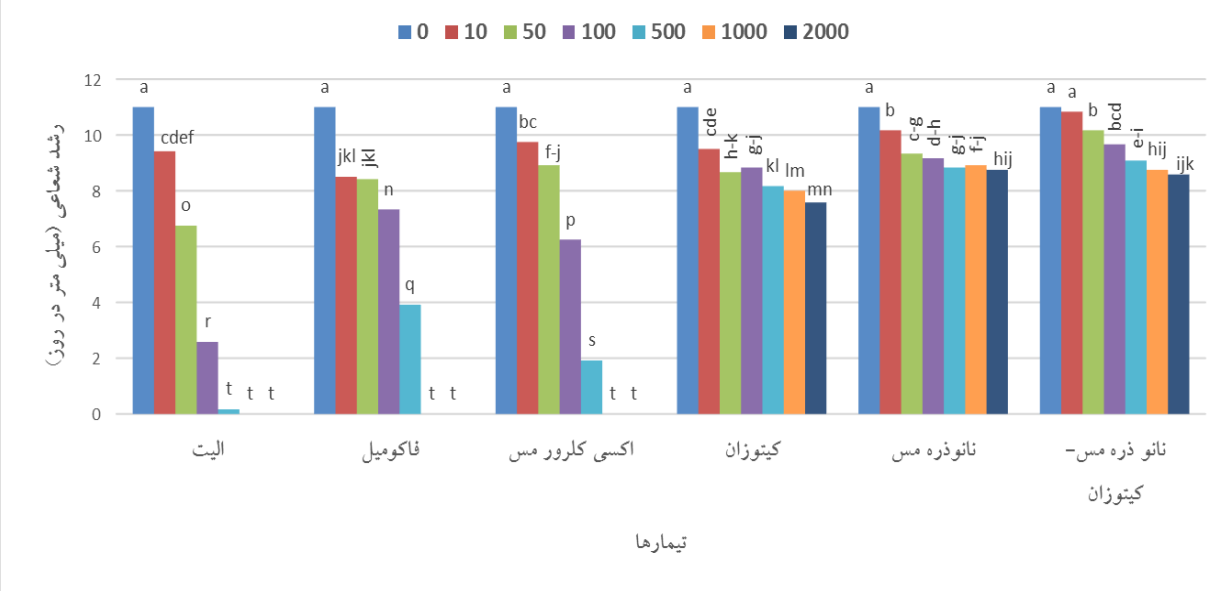
در سه تیمار الیت، فاکومیل و اکسی کلورمس، تعداد زئوسپورهای Pd در کلیه غلظت ها به طور معنی داری در مقایسه با شاهد کاهش یافته و در دو غلظت ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام به طور کامل متوقف گردید (نمودار ۳). در تیمارهای کیتوزان و نانوذره مس-کیتوزان تعداد زئوسپورهای Pd با افزایش غلظت روند کاهشی نشان داد اما این روند در غلظت های ۱۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۵۰۰ پی پی ام، اختلاف معنی داری را با شاهد در سطح ۱ درصد نشان نداد. در این دو تیمار، تنها در غلظت های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام تعداد زئوسپورهای Pd به طور معنی داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت. در تیمار نانوذره مس، به استثنای غلظت ۱۰ پی پی ام، سایر غلظت ها به طور معنی داری موجب کاهش تعداد زئوسپورهای Pd گردید. در مجموع در کلیه تیمارهای مورد استفاده کم ترین تعداد زئوسپورهای Pd در غلظت ۲۰۰۰ پی پی ام مشاهده گردید.



نمودار۳-تاثیر غلظت های مختلف الیت، فاکومیل، اکسی کلرورمس، کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان بر تعداد زئوسپورهای *Ph. drechsleri* ستون های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

تاثیر غلظت های مختلف قارچ کش ها بر رشد رویشی ***Phytophthora citrophthora***

در کلیه تیمارهای قارچ‌کش مورد استفاده، با افزایش غلظت رشد شعاعی Pc به طور معنی داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت (نمودار ۴). تنها در غلظت ۱۰ پی پی ام تیمار نانوذره مس-کیتوزان این کاهش معنی دار نبود. در دو تیمار الیت و اکسی کلرور مس کلیه غلظت های مورد استفاده دارای اختلاف معنی دار با یکدیگر و شاهد بودند. در تیمار فاکومیل رشد شعاعی Pc در دو غلظت ۱۰ و ۵۰ پی پی ام اختلاف معنی داری را با یکدیگر نشان ندادند اما هم چنان دارای تفاوت معنی دار در سطح ۱ درصد با شاهد بودند. در سه تیمار الیت، فاکومیل و اکسی کلرور مس رشد شعاعی Pc در غلظت های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام به طور کامل متوقف گردید. هم چنین در این سه تیمار میزان رشد شعاعی Pc در غلظت های ۱۰۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام به طور معنی داری کمتر از سایر تیمارهای مورد استفاده بود.



نمودار ۴-تاثیر غلظت های مختلف الیت، فاکومیل، اکسی کلرورمس، کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان بر رشد شعاعی *Ph. citrophthora*. ستون های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی داری ندارند.

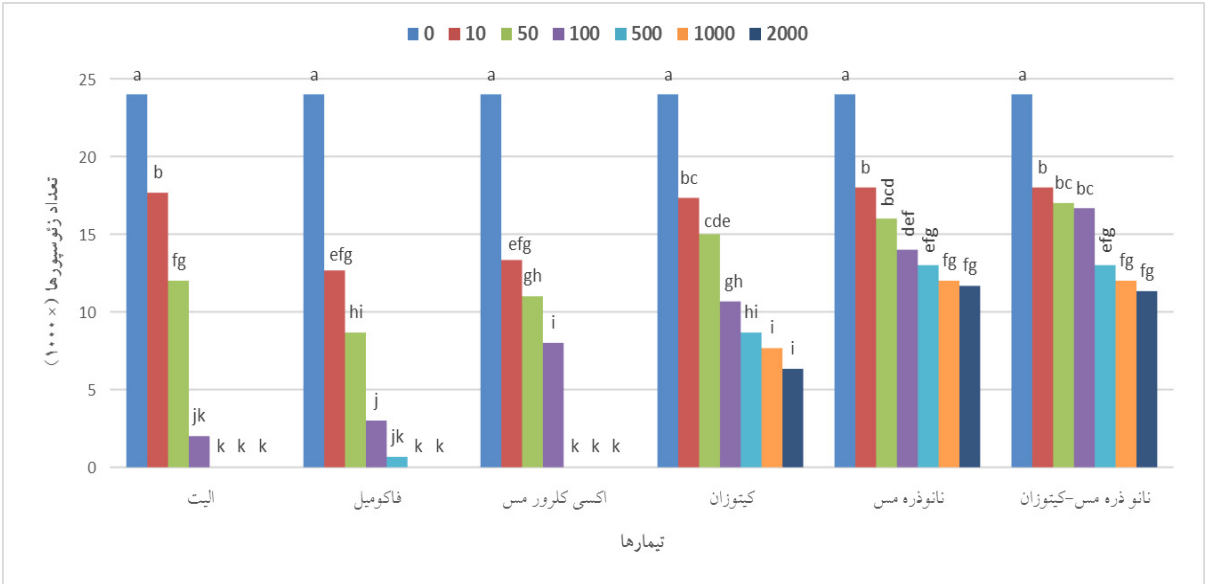
تاثیر غلظت های مختلف قارچ کش بر تولید اسپورانژیوم ***Phytophthora citrophthora***

در کلیه تیمارهای قارچ کش مورد استفاده، با افزایش غلظت تعداد اسپورانژیوم های Pc در مقایسه با شاهد کاهش یافت (نمودار ۵). در تیمارهای الیت، فاکومیل، اکسی کلرورمس و کیتوزان کاهش تعداد اسپورانژیوم در کلیه غلظت ها دارای اختلاف معنی دار در سطح ۱ درصد با شاهد بود در حالیکه در تیمار نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان به ترتیب در غلظت های ۱۰ و ۱۰ تا ۱۰۰ پی پی ام اختلاف معنی داری میان تعداد اسپورانژیوم های Pc با شاهد مشاهده نگردید (نمودار ۵). هم چنین کمترین تعداد اسپورانژیوم Pc در غلظت های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام قارچکش الیت و غلظت های ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام قارچ کش های فاکومیل و اکسی کلرورمس مشاهده شد که در این غلظت ها تولید اسپورانژیوم ها به طور کامل متوقف گردید. هم چنین در سه قارچکش الیت، فاکومیل و اکسی کلرور مس، تعداد اسپورانژیوم های Pc در کلیه غلظت ها به استثنای غلظت های ۱۰ و ۵۰ پی پی ام اکسی کلرورمس دارای اختلاف معنی دار با یکدیگر بودند (نمودار ۵). در سایر تیمارها نیز کم ترین تعداد اسپورانژیوم های Pc در غلظت های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام مشاهده گردید.

نمودار ۵-تاثیر غلظت های مختلف الیت، فاکومیل، اکسی کلرورمس، کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان بر تعداد اسپورانژیوم های *Ph. citrophthora*. ستون های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

تاثیرغلظت های مختلف قارچ کش ها بر تولید زئوسپورهای ***Phytophthora citrophthora***

در کلیه تیمارهای قارچ‌کشی، با افزایش غلظت تعداد زئوسپورهای Pc به طور معنی داری در مقایسه با شاهد کاهش یافت (نمودار ۶). در غلظت های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ پی پی ام سه تیمار الیت، فاکومیل و اکسی کلرورمس، کمترین تعداد زئوسپورهای Pc مشاهده گردید. در این غلظت ها تولید زئوسپورها به طور کامل متوقف گردید. در تیمارهای کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان نیز کمترین تعداد زئوسپورها به ترتیب در غلظت های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام، ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام و ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ پی پی ام مشاهده گردید (نمودار ۶).



نمودار ۶- تاثیر غلظت های مختلف الیت، فاکومیل، اکسی کلرورمس، کیتوزان، نانوذره مس و نانوذره مس-کیتوزان بر تعداد زئوسپورهای *Ph. citrophthora*. ستون های دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معنی‌داری ندارند.

در ایـن پژوهـش، اثربخـشی قارچ‌کش‌هـای شیمیـایی و ترکیبـات نانـویی در کنتـرل بیمـاری پوسیـدگی طوقـه و ریشـه درختـان پسـته مـورد بـررسی قـرار گرفـت. نتایـج نشـان داد کـه قارچ‌کـش اکسی‌کلـرور مـس، به‌عنـوان یـک ترکیـب حفاظـتی از گـروه ترکیبـات مـسی، بیـش تریـن تأثیـر را در کاهـش رشـد شـعاعی و تولیـد اسـپورانژیوم و زئوسـپورهای *Ph. drechsleri* و *Ph. citrophthora* داشـت. ایـن یافتـه بـا مطالعـات Brassier (1992) و Babdoost (2004) هـم راسـتا اسـت کـه نقـش ترکیبـات مـسی را در کنتـرل بیماری‌هـای فیتوفتـورایی تأییـد کرده‌انـد. اکسی‌کلـرور مـس بـا ایجـاد اخـتلال در متابولیسـم سـلولی و تحریـک مکانیسـم‌های دفـاعی گیـاه، نه‌تنهـا اثـر مسـتقیم قارچ‌کـشی دارد، بلکـه مقاومـت میزبـان را نیـز افزایـش می‌دهـد (Droby et al., 2004). ایـن سـازوکار دوگانـه، آن را بـه گزینـه‌ای مؤثـر در مدیریـت تلفیـقی بیمـاری تبدیـل کـرده اسـت. هـم چنیـن، نتایـج تحقیـق حاضـر نشـان داد کـه در غلظت‌هـای ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ppm، تولیـد زئوسـپور به‌طـور کامـل متوقـف شـد، کـه نشـان‌دهنده قـدرت بازدارنـدگی بـالای ایـن ترکیـب اسـت. قارچ‌کش‌هـای سیسـتمیک ماننـد فوزتیـل آلومینیـوم و متالاکسیـل نیـز در کاهـش رشـد رویـشی و تولیـد زئوسـپور مؤثـر بودنـد. فوزتیـل آلومینیـوم بـا حرکـت دوطرفـه در گیـاه و تحریـک تولیـد فیتوالکسین‌هـا، مقاومـت سیسـتمیک اکتسـابی را فعـال می‌کنـد (Nene and Thapliyan, 1993). متالاکسیـل نیـز بـا مهـار سـنتز پروتئیـن در قـارچ، از طریـق ریشـه و بـرگ جـذب شـده و در بافـت گیـاه منتشـر می‌شـود (Ayub et al., 1998). ایـن ویژگی‌هـا باعـث شـده‌اند کـه ایـن قارچ‌کش‌هـا در شـرایط بـاغی نیـز عملکـرد قابـل قبـولی داشـته باشـند. در بخـش دوم تحقیـق، تأثیـر نانـوذرات فلـزی و کیتـوزان بـررسی شـد. نانـوذرات مـس بـا آزادسـازی یون‌هـای Cu^{2+} و تولیـد رادیکال‌هـای آزاد، سـاختار سـلولی قـارچ را تخریـب می‌کننـد (Bondarenko et al., 2012). هـم چنیـن، کیتـوزان بـا القـای پاسـخ‌های دفـاعی در گیـاه، نقـش مهـمی در کاهـش شـدت بیمـاری ایفـا می‌کنـد (Hernandez-Lauzardo et al., 2011). نتایـج نشـان داد کـه نانـوذرات کیتوزان–مـس در غلظت‌هـای بـالا، اثـر بازدارنـدگی قابـل توجـهی بـر رشـد قـارچ داشـتند. بـا وجـود اثربخـشی نانـوذرات در شـرایط آزمایشـگاهی، لازم اسـت مطالعـات گلخانـه‌ای و مزرعـه‌ای نیـز انجـام شـود، زیـرا عوامـل محیـطی ماننـد دمـا، رطوبـت، بافـت خـاک و تعـاملات میکـروبی می‌تواننـد بـر عملکـرد ایـن ترکیبـات تأثیرگـذار باشـند (Ingle et al., 2008). هـم چنیـن، بـررسی سرنوشـت نانـوذرات در بافـت گیـاه و اثـرات زیسـت‌محیطی آن‌هـا ضـروری اسـت. در مجمـوع، یافته‌هـای ایـن تحقیـق نشـان داد کـه ترکیبـات شیمیـایی ماننـد اکسی‌کلـرور مـس و قارچ‌کش‌هـای سیسـتمیک، در کنـار ترکیبـات نانـویی، می‌تواننـد به‌عنـوان راهکارهـای مکمـل در مدیریـت بیمـاری پوسیـدگی طوقـه و ریشـه درختـان پسـته مـورد اسـتفاده قـرار گیرنـد. تلفیـق ایـن ترکیبـات بـا محرک‌هـای طبیـعی ماننـد کیتـوزان، می‌توانـد اثربخـشی راهبردهـای مدیریـتی را افزایـش دهـد هـم چنیـن نتایـج ایـن پژوهـش نشـان داد کـه قارچ‌کـش اکسی‌کلـرور مـس، به‌عنـوان مؤثرتریـن ترکیـب در کاهـش رشـد قـارچ و تولیـد زئوسـپور، نقـش کلیـدی در کنتـرل بیمـاری پوسیـدگی طوقـه و ریشـه دارد. هـم چنیـن، قارچ‌کش‌هـای سیسـتمیک ماننـد فوزتیـل آلومینیـوم و متالاکسیـل، بـا ویژگی‌هـای جـذب و انتشـار در گیـاه، توانسـتند رشـد بیمارگـر را در شـرایط آزمایشـگاهی به‌طـور مؤثـری مهـار کننـد. ترکیبـات نانـویی، به‌ویـژه نانـوذرات مـس و کیتوزان–مـس، نیـز عملکـرد قابـل قبـولی در کاهـش شـدت بیمـاری داشـتند. بـا ایـن حـال، بـرای ارزیـابی دقیق‌تـر اثربخـشی آن‌هـا، انجـام مطالعـات گلخانـه‌ای و مزرعـه‌ای ضـروری اسـت. پیشـنهاد می‌شـود کـه در پژوهش‌هـای آینـده، تلفیـق قارچ‌کش‌هـای شیمیـایی بـا ترکیبـات نانـویی و محرک‌هـای طبیـعی ماننـد کیتـوزان مـورد بـررسی قـرار گیـرد. هـم چنیـن، تحلیـل سـازوکارهای مولکـولی اثـر ایـن ترکیبـات می‌توانـد بـه توسـعه راهبردهـای مدیریـتی پایـدار و کم‌خطـر بـرای کنتـرل بیماری‌هـای فیتوفتـورایی منجـر شـود.

منابع

1- Abrishami, H. 1994. Pistachio Cultivation and Production. Agricultural Press, Tehran, Iran: pp. 1–220 (in Persian).
2- Ahmadi, P., Babalar, M., Talaee, A. and Asgari Sarcheshmeh, M.A. 2018. Effect of different ammonium and nitrate ratios on quantitative and qualitative characteristics of apple varieties (Golabe-Kohanz and Granny Smith). Iranian Journal of Horticultural Science, 49(1): 93–103 (in Persian).
3- Ayub, N., Ahmad, I., and Khan, M.A. 1998. Evaluation of fungicides against Phytophthora root rot of tomato. Pakistan Journal of Phytopathology, 10(1): 45–48.
4- Babdoost, M. 2004. Management of Phytophthora diseases in pistachio orchards. Iranian Journal of Plant Pathology, 40(2): 123–130. (In Persian)
5- Bani-Hashemi, Z. 1989. Phytophthora species in pistachio orchards. In: Ershad, D. and Mirabolfathi, M. (eds.), Plant Pathology in Iran. Tehran: Iranian Society of Plant Protection, pp. 112–130. (in Persian)
6- Bondarenko, O., Juganson, K. and Ivask, A. 2012. Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO_2 to bacteria Vibrio fischeri and Escherichia coli. Ecotoxicology and Environmental Safety, 78: 1–9.
7- Brassier, C.M. 1992. Phytophthora diseases of trees and shrubs. Arboricultural Journal, 16(2): 95–114.
8- Cioffi, N., Ditaranto, N. and Torsi, L. 2005. Copper nanoparticle/polymer composites with antifungal and bacteriostatic properties. Chemistry of Materials, 17(21): 5255–5261.
9- Deliopoulos, T., Kettlewell, P.S. and Hare, M.C. 2010. Fungal disease suppression by inorganic salts: A review. Crop Protection, 29(10): 1059–1075. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.05.011
10- Droby, S., Cohen, L. and Weiss, B. 2004. Novel approaches for postharvest disease control in fresh produce. In: Naqvi, S.A.M.H., editor. Diseases of Fruits and Vegetables. Springer, Dordrecht: p. 321–339.
11- Esmaeilpour, A. and Van Damme, P. 2016. Evaluation of seed soaking times on germination percentage, germination rate and growth characteristics of pistachio seedlings. Acta Horticulturae, 1109: 107–112. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1109.17
12- Ghasemi, A. and Soozani, M. 2008. Economic importance of pistachio in Iran's agricultural exports. Iranian Journal of Agricultural Economics, 12(3): 45–52 (in Persian).
13- Greaves, J. 2011. The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 366(1573): 1987–1998. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0390
14- Hernandez-Lauzardo, A.N., Velazquez-del Valle, M.G. and Alvarado-Rodriguez, M. 2011. Chitosan as a potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. Crop Protection, 30(3): 227–234.

15- Ingle, A., Duran, N. and Rai, M. 2008. Nanotechnology for the control of phytopathogens. In: Rai, M., Ribeiro, C., Mattoso, L., editors. Nanotechnology in Agriculture and Food Science. Wiley-VCH, Weinheim: p. 199–214.
16- Jaiswal, M., Bayat, V., Thiffault, I., Tétreault, M., Donti, T., Sasarman, F. and Bellen, H.J. 2012. Mutations in the mitochondrial methionyl-tRNA synthetase cause a neurodegenerative phenotype in flies and a recessive ataxia (ARSAL) in humans. PLOS Biology, 10(3), e1001288. https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001288
17- Kim, J.S., Kuk, E. and Yu, K.N., 2007. Antimicrobial effects of silver nanoparticles. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine, 3(1): 95–101.
18- Kuck, K.H. and Gisi, U. 2007. FRAC mode of action classification and resistance risk of fungicides. Crop Protection, 26(3): 203–210.
19- Mirabolfathi, M., Banihashemi, A. and Ershad, D. 1989. [Title of the paper]. In: Proceedings of the 3rd National Pistachio Congress, 4–6 September 1989, Rafsanjan, Iran. Pistachio Research Center, p. 34. (in Persian)
20- Mohammadalayan, M., and Nazarian, M. 2017. Evaluation of copper oxychloride fungicide in controlling brown rot of citrus fruits. Iranian Journal of Horticultural Science, 48(2): 123–130. (In Persian)
21- Moradi, H. and Masoumi, A. 2011. Evaluation of soil physical and chemical properties under different irrigation regimes in pistachio orchards. Iranian Journal of Soil and Water Research, 17(2): 101–109. (in Persian)
22- Moradi, M., Fani, S.R., Dargahi, R., Farajpour Odrej, A., Alipour, H. and Salmani, H. 2012. Evaluation of systemic fungicides for the control of pistachio gummosis disease caused by *Phytophthora* spp. Journal of Applied Research in Plant Protection, 14(1): 23–32. (in Persian)
23- Moradi, M., Saberi-Riseh, R. and Fathi, F. 2017. The effect of chemical compounds on induction of plant defense enzymes and reduction of pistachio gummosis caused by *Phytophthora drechsleri*. Iranian Journal of Plant Protection, 48(1): 13–27. (in Persian)
24- Nene, Y.L., and Thapliyan, P.N. 1993. Fungicides in Plant Disease Control. Oxford & IBH Publishing Co., New Delhi, India: pp. 231–245.
25- Roudsari, M. 2016. Evaluation of several fungicides in controlling *Phytophthora* species causing damping-off of cucumber in greenhouses of Tehran Province. Iranian Journal of Plant Pathology Research, 31(1): 45–52. (In Persian)
26- Saharan, B.S., Nehra, V., Yadav, K.K. and Bishnoi, K. 2013. Induced systemic resistance (ISR) and plant growth promotion by *Bacillus* spp. Journal of Plant Interactions, 8(3): 211–222. https://doi.org/10.1080/17429145.2013.839099
27- Saharan, V., Sharma, G., Yadav, M., Choudhary, M. K., Sharma, S.S., Pal, A., Raliya, R. and Biswas, P. 2015. Synthesis and in vitro antifungal efficacy of Cu-chitosan nanoparticles against pathogenic fungi of tomato. International Journal of Biological Macromolecules, 75: 346–353. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.01.027
28- Stoimenov, P.K., Klinger, R.L., Marchin, G.L. and Klabunde, K.J. 2002. Metal oxide nanoparticles as bactericidal agents. Langmuir, 18(17): 6679–6686.
29- Zafari, D. 1991. Soil Microbiology and Plant Disease Management. Tehran: University of Tehran Press, pp. 85–102. (in Persian)

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

The effect of different sulfur sources on the common pistachio psyllid and some of its natural enemies in case studies

Zahra Sheibani Tezerji*
Department of Entomology, Raf.C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran
* Corresponding author: zh.sheibani@iau.ac.ir

Recieved:2025/9/1 Accepted:2025/9/17

Abstract

The common pistachio psyllid is one of the most important pests of pistachio trees. The damage of this pest is
economic in terms of feeding on plant sap, being multi-generational, and having high reproductive capacity. Chemical insecticides are used to control it. Given the of chemical insecticides have many disadvantages, Therefore, it is essential to find a safe, effective, and natural method to control this pest. One of these methods is the use of a sulfur mineral compound, which is available in various sources, including mineral and refinery (liquid, wettable powder and micronized powder formulations). Various studies have shown that sulfur is more effective to control of the common pistachio psyllid than chemical pesticides such as imidacloprid and spirotetramat, acetamiprid, flupyradifuron, thiacloprid, and phosalone, and can control this pest for several weeks. The effect of Zarkooh Mine sulfur increases with increasing concentration, and in cases of high pest density that require rapid control, a higher concentration should be used, depending on the pistachio variety and time. Micronized sulfur had better effect than other sulfur formulations to reduce the population density of common pistachio psyllid at different sampling times. The effect of sulfur on parasitoid, *Psyllaephagus pistaciae* and Ladybugs, *Oenopia conglobata* and *Hippodamia variegate* was less harmful, but on *Chrysoperla carnea* was medium harmful. Of course, the bioassay on the *C. carnea* was conducted under laboratory conditions. The application sulfur improves vegetative characteristics and quantitative and qualitative yield of commercial pistachio cultivars and Quality characteristics of pistachio nuts (Kernel composition, appearance and market acceptance). In general, necessary decisions should be taken regarding the method and timing of sulfur application in an integrated pest management program so that it does not adversely affect the sensitive growth stages of natural enemies and also does not cause burns to pistachio leaves and nuts.

Keywords: *Agonoscena pistaciae*, *Chrysoperla carnea*, *Oenopia conglobata*, *Psyllaephagus pistaciae,* sulfur.

Published by Islamic Azad University, Rafsanjan .This is an open access article
under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Extended Abstract

Introduction

The common pistachio psyllid is one of the most important pests of pistachio trees. The damage of this pest is economic in terms of feeding on plant sap, being multi-generational, and having high reproductive This pest causes blankness and half-kernel nuts and bud and leaf drop. Different chemical.capacity insecticides are used to control it. These compounds are carcinogenic, cause hormonal imbalance, sterilization, acute and chronic toxicity, and had long-term degradation and residues in food. The use of these compounds disrupts the balance of natural enemies, pollinators and other wildlife. They also cause widespread contamination of groundwater, pest resurgence and the emergence of secondary pests. Therefore, it is essential to find a safe, effective, and natural method to control this pest. One of these methods is the use of a sulfur mineral compound, which is available in various sources, including mineral and refinery (liquid, wettable powder and micronized powder formulations). It is a relatively safe compound and is in the G.R.A.S. category of pesticides.

Materials and Methods

The effects of sulfur at different formulations and concentrations compared to each other and chemical pesticide and control (water) were investigated on the population density of eggs and nymphs of common pistachio psyllid at commmerical cultivar pistachio usually under field conditions as randomized complete block design with at least four replicates under field conditions. Sulfur should be passed through a fine sieve before being added to the sprayer tank. Be Mix with water, outside the sprayer tank. Then was poured it into the sprayer. It is essential to equip the sprayer with an agitator. The samplings were done 3, 7, 14, 21 and 28 days after treatment. Random sampling was performed from the leaflet or leaf. Data analysis was performed using different software such as SAS and SPSS, and Duncan's or Tukey's test was used to compare means at the 5% and 1% level.

Results and Discussions

As the population of common pistachio psyllid increases, this leads to a significant decline in both the quality and the yield of the pistachio harvest. Over the past few years, various types of sulfur have been commonly used to control pests. Various studies have shown that sulfur is more effective to control of the common pistachio psyllid than different chemical pesticides such as imidacloprid, spirotetramat, acetamiprid, flupyradifuron, thiacloprid, and phosalone, and can control this pest for several weeks. The effect of Zarkooh Mine sulfur on common pistachio psyllid increases with increasing concentration, and in cases of high pest density that require rapid control, a higher concentration should be used, depending on the pistachio variety and time. Micronized sulfur had better effects than other sulfur formulations to reduce the population density of common pistachio psyllid at different sampling times after spraying. Sulfur produces hydrogen sulfide by sublimation and combination with hydrogen gas, so it is considered Some researchers believe that sulfur is well soluble in fats and can pass through the .afumigants semipermeable cytoplasmic membrane and enter the cell. Therefore, sulfur affect on common pistachio psyllid both through contact and ingestion, then it causes the death of insects by disrupting their normal

function and energy cycle, followed by a change in energy capacity.
The adaptability of pesticides with biological agents is one of the major concerns of integrated pest management (IPM) practitioners. Hence, it is essential to have necessary information about the action mode of pesticides on non-target insects. Furthermore, finding efficient biological control agents is considered the first step in developing biological control programs. Therefore, the effects of different formulations and sources of sulfur has been investigated on natural enemies of common pistachio psyllid. The effect of Zarkooh Mine sulfur on parasitoid, *Psyllaephagus pistaciae* (adult) and Ladybugs, *Oenopia conglobata* (larvae) and micronized sulfur on *Hippodamia variegate* (egg, larval stages and adult) was less harmful, but sulfur wettable powder ($WP_{80\%}$) on *Chrysoperla carnea* (egg, larval was conducted under stages and adult) was medium harmful. Of course, the bioassay on the *C. carnea* laboratory conditions.
The application sulfur improves vegetative characteristics and quantitative and qualitative yield of commercial pistachio cultivars (A significant increase in the percentage of splitting nuts and a significant decrease in the percentage of unsplitting nuts in Ahmad Aghaei and Owhadi cultivars compared to control and spirotetramat and imidacoloprid pesticides) and quality characteristics of pistachio nuts (Kernel composition, appearance and market acceptance).

Conclusion

According to the results of these researches, sulfur can be used as a safe, effective, and compatible compound compared to chemical pesticides before the critical stage of pistachio nut development. Sulfur can protect pistachio trees from infestation of common pistachio psyllid at low population densities. Therefore, the emphasis on spraying trees with sulfur at the beginning of the growing season to prevent of laying eggs, plays a significant role to reduce the use of dangerous chemical pesticides and control of pest. Preventive use of sulfur can be a valuable tool in integrated management of common pistachio psyllid, especially for the production of healthy pistachios, and can improve the quantitative and qualitative characters of pistachio nuts. Of course, special attention must be paid to the sensitivity of pistachio cultivars to sulfur, the time of activity of sensitive growth stages of natural enemies, and the time of sulfur application around the day in order to control the common pistachio psyllid with the least effect on natural enemies and to prevent the formation of burn symptoms on pistachio leaves and nuts.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

تاثیر منابع مختلف گوگرد روی پسیل معمولی پسته و برخی دشمنان طبیعی آن در مطالعات موردی

زهرا شیبانی تذرجی*
گروه حشره‌شناسی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران.
* نویسنده مسئول: zh.sheibani@iau.ac.ir

دریافت : ۱۴۰۴/۶/۱۰ پذیرش : ۱۴۰۴/۶/۲۶

چکیده

پسیل معمولی پسته یکی از مهم ترین آفات درختان پسته است و خسارت آن به لحاظ تغذیه از شیره گیاهی، چند نسلی بودن و قدرت تولید مثل زیاد، اقتصادی است. برای کنترل آن از حشره کش های شیمیایی استفاده می شود. با توجه به معایب حشره کش های شیمیایی یافتن روشی اَمن، مؤثر و طبیعی برای کنترل این آفت ضروری است. یکی از این روش ها استفاده از ترکیب معدنی گوگرد است که به شکل منابع مختلف از جمله معدنی و پالایشگاهی (با فرمولاسیون های مایع، پودر وتابل و پودر میکرونیزه) موجود است. تحقیقات مختلف نشان داده است که گوگرد در مقایسه با آفت کش هایی نظیر ایمیداکلوپراید و اسپیروتترامات، استامی پراید، فلوپیرادیفورون و تیاکلوپراید و فوزالون تاثیر بیشتری در کنترل پسیل معمولی پسته دارد و برای چندین هفته می تواند آن را کنترل نماید. تاثیر گوگرد معدن زرکوه با افزایش غلظت افزایش می یابد و در تراکم بالای آفت که نیاز به کنترل سریع است با توجه به رقم پسته و زمان، از غلظت بیشتر استفاده شود. گوگرد میکرونیزه در مقایسه با سایر فرمولاسیون های گوگرد عملکرد بهتری در کاهش انبوهی جمعیت پورهی پسیل معمولی پسته در زمان های مختلف نمونه برداری داشته است. کاربرد گوگرد روی زنبور پارازیتوئید *Psyllaephagus pistaciae* و کفشدوزک *Oenopia conglobata* و *Hippodamia variegate* تاثیر جزئی دارد اما روی بالتوری *Chrysoperla carnea* تاثیر سوء بیش تری نشان داد، البته باید نظر داشت که زیستسنجی روی بالتوری در شرایط آزمایشگاهی انجام شد. کاربرد گوگرد باعث بهبود خصوصیات رویشی و عملکرد کمی و کیفی ارقام تجاری پسته و خصوصیات کیفی میوه پسته (ترکیبات مغز میوه، رؤیت و بازارپسندی) می شود. به طور کلی در مورد نحوه و زمان کاربرد گوگرد در قالب یک برنامه‌ی مدیریت تلفیقی آفت، بایستی تدابیر لازم اندیشیده شود، تا بر مراحل رشدی حساس دشمنان طبیعی تاثیر سوء ایجاد نکند و هم چنین سبب سوختگی برگ و میوه پسته نگردد.

واژگان کلیدی: بالتوری، پسیل معمولی پسته، زنبور پسیلوفاگوس، کفشدوزک، گوگرد.

انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد با گواهی CC BY-NC ۴.۰ صورت گرفته است.
http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

مقدمه

پسیل معمولی پسته *Agonoscena pistaciae* Burckhardt and Lauterer (Hemiptera: Psyllidae) یک آفت مهم و کلیدی است که در حال حاضر کنترل آن یکی از بزرگ ترین دغدغه های کشاورزان محسوب می شود و همه ساله سبب کاهش کیفی و کمی محصول پسته می گردد (Samih et al., 2005). تغذیه از شیره گیاهی باعث ضعف عمومی درختان و در نتیجه در طول مرحله‌ی پرشدن مغز میوه پسته، باعث پوکی و نیم مغز شدن دانه‌ها، ریزش جوانه‌ها و سپس ریزش برگ‌ها می‌شود (Mehrnejad, 2002). برای کنترل این آفت اغلب از آفت کش های شیمیایی استفاده می شود. این ترکیبات دارای خاصیت سرطان زایی، تولید جنین های ناقص، سبب اختلال در تعادل هورمونی، عقیم سازی، سمیت های حاد و مزمن و تجزیه طولانی مدت و وجود بقایا در مواد غذایی می باشند. استفاده از این ترکیبات سبب اختلال در تعادل دشمنان طبیعی، حشرات گرده افشان و سایر موجودات حیات وحش می شود. هم چنین باعث آلودگی وسیع آب های زیرزمینی، طغیان مجدد آفات و ظهور آفات ثانویه می شوند (Khater, 2012). هرچند در کشاورزی مدرن حفاظت از گیاهان به وسیله ی آفت کش های شیمیایی یک فاکتور اساسی در افزایش تولید به شمار می آید؛ با این حال، محدودیت ها و خطرات استفاده بیش از اندازه این آفت کش ها در طبیعت نیز آشکار شده است (Alizadeh et al., 2007). لذا با توجه به نحوه خسارت پسیل معمولی پسته، چند نسلی بودن آن و تأثیر آن روی محصول پسته سال آینده و معایب روش های شیمیایی، کاربرد ترکیب های ایمن تر برای محیط زیست و کاهش میزان مصرف سموم ضروری به نظر می رسد. گوگرد یکی از این ترکیبات است که به عنوان یک ترکیب معدنی از طریق تماسی و گوارشی با اختلال در عملکرد طبیعی و چرخه انرژی سبب مرگ حشره می شود. گوگرد از نظر نوع مسمومیت جزء سموم نسبتاً امن بوده و در گروه سموم G. R. A. S[1] قرار می گیرد (Rakhshani et al., 2015). به دلیل سازگاری بالای گوگرد با محیط و عدم اثرسوء زیست محیطی، علاقه زیادی به استفاده از آن به عنوان یک آفت کش شیمیایی موثر در برنامه های مدیریتی آفات وجود دارد (Pérez-Guerrero and Molina, 2016). گوگرد از عناصر طبیعی موجود در محیط است که به عنوان حشره کش، قارچ کش و جونده کش و نیز به عنوان کود و اصلاح کننده خاک مورد استفاده قرار می گیرد (Erfani Nategh et al., 2023). در قرن گذشته، گوگرد به طور گسترده ای به عنوان قارچ کش در بسیاری از محصول های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته و در دهه ی اخیر فعالیت حشره کشی آن نیز شناخته شده است (Pérez-Guerrero and Molina, 2016). گوگرد یکی از اولین آفت کش هایی است که ۲۵۰۰ سال پیش از میلاد مورد استفاده قرار می گرفته و برای ضدعفونی کردن خانه های یونانی ها کاربرد داشته است. این عنصر در دهه ۱۹۲۰ به عنوان آفت کش در آمریکا ثبت شد و به طور گسترده در برابر سفیدک پودری و سایر بیماری های قارچی مورد استفاده قرار گرفت، به گونه ای که در کالیفرنیا در سال ۲۰۱۲ تنها ۲۱۴۶۲۵۹۸ کیلوگرم برای کنترل بیماری ها و آفات محصول هایی مانند انگور، گوجه فرنگی، پسته، توت فرنگی، چغندرقند، هلو، بادام، هویج و انار استفاده شد (Griffith et al., 2015).

گوگرد به شکل های مختلف از جمله معدنی و میکرونیزه پالایشگاهی پایه نفتی و گازی در بازار موجود می باشد. گوگرد پالایشگاهی که از نفت خام و گاز جداسازی می گردد خلوصی بیش از ۹۹ درصد دارد و باقیمانده آن را خاکستر، هیدروکربن ها، رطوبت و اسید سولفوریک تشکیل می دهند. گوگرد پالایشگاهی نوع گازی به رنگ زرد طلایی و نوع نفتی به رنگ زرد قناری است که به صورت یک آسیابه، دو آسیابه و میکرونیزه عرضه می گردد. گوگرد معدنی به صورت طبیعی در معادن و رگه های گوگردی خاک یافت می شود و بسته به نوع معدن و ناخالصی موجود، دارای خلوص بین ۲۰ تا ۵۰ درصد می باشد. این گوگرد اغلب با آهک همراه است (Afrousheh et al., 2021a). گوگرد جز سموم معدنی غیرکربنه محسوب می گردد که از طریق تماسی و گوارشی با اختلال در عملکرد طبیعی و چرخه انرژی سبب مرگ حشره می شود. گوگرد به خوبی می تواند عوامل بیماری زای قارچی، پسیل ها، کنه ها، شته ها، عنکبوت ها و لارو و پوره آن ها را از بین ببرد. حتی در برخی از موارد سبب از بین رفتن تخم حشرات نیز می گردد. اما برای پرندگان، ماهی ها و زنبورها بی خطر بوده و برای انسان سمیت کمی دارد لذا از نظر نوع مسمومیت جزء سموم نسبتاً امن بوده و در دسته سموم G. R. A. S می باشد (Shabani

1. Generally Recognized As Safe

Brogeni, 2016). گوگـرد بـا تصعیـد و ترکیـب بـا گاز هیـدروژن تولیـد سـولفید هیـدروژن مـی کنـد لـذا یـک ترکیـب تدخینـی محسـوب مـی شـود. برخـی محققیـن معتقدنـد کـه گوگـرد در چربـی هـا بـه خوبـی حـل مـی شـود و مـی توانـد از غشـای نیمـه تـراوا سیتوپلاسـمی عبـور کنـد و وارد سـلول شـود. بنابرایـن هـم از طریـق تماسـی و هـم گوارشـی بـا اخـتلال در عملکـرد طبیعـی و چرخـه انـرژی و بـه دنبـال آن تغییـر توانایـی انـرژی سـبب مـرگ حشـرات مـی گـردد (Afrousheh et al., 2021a).

تاکنـون اثـر آفـت کشـی گوگـرد میکرونیـزه (Mohammadinia and Emami, 2018; Bakhtiari Torbati et al., 2016; Erfani Nategh et al., 2023)، گوگـرد معدنـی زرکـوه (Kazemi et al., 2016; Afrousheh et al., 2021b; Kamyab et al., 2024)، گوگـرد مایـع (Mohammadinia and Emami, 2018) و گوگـرد وتابـل (Mohammadinia and Emami, 2018; Jafari Nadooshan et al., 2024) روی پسـیل معمولـی پسـته و دشـمنان طبیعـی آن (Jafari Nadooshan et al., 2024; Erfani Nategh et al., 2023; Kazemi et al., 2016) و خصوصیـات کمـی و کیفـی میـوه پسـته (Afrousheh et al., 2021b) مـورد ارزیابـی قـرار گرفتـه اسـت.

مواد و روش ها

تاثیـر منابـع مختلـف گوگـرد در غلظـت هـای مختلـف بسـته بـه فرمولاسـیون آن، در مقایسـه بـا یکدیگـر یـا سـایر ترکیبـات آفـت کـش روی ارقـام تجـاری پسـته بـه روش صحـرایی در قالـب طـرح بلـوک تصـادفی در چنـد تکـرار زیسـت سـنجی مـی شـوند. بـرای تیمـار شـاهد از آب اسـتفاده می شـود. در مـورد گوگردهـای بـا فرمولاسـیون جامـد، گوگـرد قبـل از اضافـه نمـودن بـه مخـزن سـم پـاش از الـک ریـز عبـور داده می شـود، بیـرون از مخـزن سـم پـاش بـا آب مخلـوط می گـردد و سـپس بـه داخـل مخـزن سـم پـاش ریختـه می شـود. تجهیـز سـم پـاش بـه همـزن ضـروری اسـت. محلـول پـاشی معمـولا بـا تانکـر ۱۰۰۰ لیتـری مجهـز بـه همـزن انجـام مـی شـود. جهـت جلوگیـری از اثـر سـوزندگی گوگـرد، محلـول پـاشی آن در سـاعات خنـک اول صبـح انجـام می شـود. نمونـه بـرداری بـه صـورت تصـادفی از برگچـه هـای پسـته ۳، ۷، ۱۴، ۲۱ و ۲۸ روز بعـد از محلـول پـاشی انجـام مـی شـود. جمعیـت تخـم و پـوره هـای پسـیل معمـولی پسـته در هـر دو سـطح رویی و زیـری برگچـه هـای بـرگ پسـته بـه وسیلـه استریومیکروسـکوپ شـمارش مـی گـردد و تعـداد آن هـا در هـر تیمـار و تکـرار بـه طـور جداگانـه ثبـت مـی شـود (Mohammadinia and Emami, 2018; Bakhtiari Torbati et al., 2016; Kazemi et al., 2016; Afrousheh et al., 2021b). انبـوهی جمعیـت تخـم و پـوره هـای پسـیل معمـولی پسـته در مقایسـه بـا شـاهد تجزیـه و تحلیـل می شـود. تجزیـه و تحلیـل داده هـا بـا اسـتفاده از نـرم افزارهـای مختلـف ماننـد SAS یـا SPSS انجـام مـی شـود و مقایسـه میانگیـن هـا بیـن تیمارهـای مختلـف بـا آزمـون هـای مختلـف ماننـد تـوکی یـا دانکـن صـورت مـی گیـرد.

نتایج و بحث

تاثیر منابع مختلف گوگرد روی پسیل معمولی پسته

گوگـرد بـه لحـاظ منابـع اسـتحصال بـه دو شـکل معـدنی و نفـتی تقسیـم بنـدی می شـود. عمومـا گوگردهـای اسـتخراج شـده از منابـع نفـتی ماننـد گوگـرد میکرونیـزه ضمـن تفـاوت در سـاختار مولکـولی نسـبت بـه منابـع معـدنی درصـد خلـوص بالاتـر (بالاتـر از ۹۹ درصـد) و تصعیـد بهتـر داشـته و لـذا در کنتـرل پسـیل موثرترنـد (Shabani Brogeni, 2016). تاکنون منابـع مختلـف گوگـرد روی پسـیل معمـولی پسـته مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت کـه از آن جملـه می‌تـوان بـه مـوارد زیر اشـاره نمـود.

اثـرات حشـره کـشی عصـاره گیـاهی تلخـه (ماتریـن) و گوگـرد جامـد در مقایسـه با آفت‌کش‌هـای فلوپیرادیفـورون و تیاکلوپریـد روی پـوره هـای پسـیل معمـولی پسـته در شـرایط صحـرایی بـررسی شـد. در فواصـل زمـانی ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز بعـد از محلـول پـاشی، ۱۰ بـرگ از هـر درخـت بـه طـور تصـادفی جـدا شـده و پـوره هـای زنـده مربـوط بـه هـر تیمـار

و تکـرار شـمارش و بـه طـور جداگانـه ثبـت شـد. اعمـال تیمارهـای فلوپیرادیفـورون، تیاکلوپرایـد، ماتریـن و گوگـرد جامـد، سـه روز پـس از محلـول پـاشی بـه ترتیـب منجـر بـه کاهـش ۹۷، ۹۵، ۹۸ و ۹۸ درصـدی جمعیـت پـوره هـا شـد و پـس از ۲۱ روز ،گوگـرد جامـد، ۹۴/۶ درصـد کنتـرل را سـبب شـد و سـایر تیمارهـا در ایـن دو مرحلـه اخـتلاف معـنی داری بـا شـاهد نداشـتند. بنابراین گوگـرد جامـد بـه عنـوان یـک ترکیـب غیرشیمیـایی تاثیـر خـوبی در کنتـرل ایـن آفـت خواهـد داشـت (Bahadur et al., 2020). در تحقیقـی تاثیـر گوگـرد تجـاری زرکـوه (۳۰ در هـزار)، گوگـرد زرکـوه (۵۰ در هـزار) و فوزالـون (۲/۵ در هـزار) روی سـنین پـورگی و تخـم پسـیل معمـولی پسـته در حومـه مرکـزی اسـتان کرمـان، در سـال ۱۳۹۸ بـررسی شـد. محلول‌پاشـی روی درختـان پسـته در اوایـل تیـر مـاه صـورت گرفـت. آزمایـش هـا در قالـب طـرح آمـاری بلـوک هـای کاملا تصـادفی بـا چهـار تکـرار انجـام شـد. نمونـه بـرداری از برگ‌هـای درختـان پسـته تیمـار شـده در یـک، سـه، هفـت و ۱۴ روز پـس از محلـول پـاشی انجـام شـد. در ۱۴ روز پـس از محلـول پـاشی، اخـتلاف معـنی‌داری بیـن تیمارهـا از لحـاظ کنتـرل سـنین پـورگی چهـار و پنـج آفـت مشـاهده نگردیـد و میانگیـن کنتـرل در تیمارهـا برابـر بـا (۳±۴۹/۰۲) درصـد بـود. در مـورد سـنین پـورگی یـک، دو و سـه نیـز ایـن اخـتلاف معـنی دار نبـوده و میانگیـن کنتـرل در تیمارهـا برابـر (۰/۹۵±۶۳/۰۲) درصـد بـوده اسـت. بیـن تیمارهـا در کاهـش تراکـم تخـم آفـت نیـز اخـتلاف معـنی‌دار مشـاهده نگردیـد. میانگیـن کاهـش جمعیـت تخـم در تیمارهـای گوگـردی (۹/۴۹±۷۹/۱) درصـد تعییـن شـد. باتوجـه بـه نتایـج فـوق اسـتفاده از گوگـرد زرکـوه در هـر دو غلظـت در مقایسـه بـا تیمـار ترکیـب شیمیـایی فوزالـون اخـتلاف معـنی‌داری نشـان نمی‌دهـد کـه بـا توجـه بـه مسـائل عمـده اسـتفاده از گوگـرد نظیـر سـوختگی‌ها، برگریزی‌هـا، شـکل کاربـرد و... هنـوز توصیـه ایـن مـاده بـرای کنتـرل پسـیل پسـته نیـاز بـه بررسی‌هـای بیـش تـری دارد (Kamyab et al., 2024).

بـا هـدف کاهـش مصـرف آفت‌کش‌هـای شـیمیایی، اثـر گوگـرد میکرونیـزه Sulfur® و اخـتلاط آن بـا کائولیـن فـراوری شـده سـپیدان WP® روی پـوره پسـیل معمولـی پسـته در منطقـه کاشـمر اسـتان خراسـان رضـوی، در سـال ۱۳۹۳ بررسـی شـد. بـه همیـن منظـور محلول‌پاشـی کامـل درختـان پسـته بـا غلظت‌هـای ۳ و ۵ درصـد کائولیـن فـرآوری شـده و اخـتلاط آن بـا گوگـرد میکرونیـزه، ۰/۵ و یـک درصـد انجـام گرفـت. آزمایش‌هـا در قالـب طـرح بلوک‌هـای کامـل تصادفـی بـا نـه تیمـار و چهـار تکـرار انجـام شـد. زمان‌هـای محلول‌پاشـی تیـر و مـرداد مـاه بـود. نمونه‌بـرداری یـک روز قبـل و ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز بعـد از هـر محلول‌پاشـی انجـام شـد. در هـر بـار نمونه‌بـرداری ، تعـداد کل پـوره پسـیل در سـطح رویـی و پشـتی چهـار بـرگ شـامل سـه برگچـه از جهـات مختلـف درخـت شـمارش شـده و میانگیـن تعـداد پـوره بـه ازاء هـر بـرگ و سـپس درصـد کاهـش جمعیـت در زمان‌هـای مختلـف بعـد از محلول‌پاشـی محاسـبه گردیـد. بـر اسـاس نتایـج بـه دسـت آمـده، بیش‌تریـن درصـد کارایـی مربـوط بـه تیمـار اخـتلاط کائولیـن ۵ درصـد و گوگـرد میکرونیـزه یـک درصـد در زمان‌هـای ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پـس از محلول‌پاشـی، به‌ترتیـب بـا میانگیـن کارایـی ۹۸/۲۹، ۹۱/۲۱، ۸۷/۶۴ و ۷۰/۲۲ درصـد و سـپس تیمـار اخـتلاط کائولیـن ۵ درصـد و گوگـرد میکرونیـزه ۰/۵ درصـد در زمان‌هـای ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پـس از محلول‌پاشـی، به‌ترتیـب بـا میانگیـن کارایـی ۹۷/۹۵، ۹۰/۸۵، ۸۶/۰۲ و ۶۶/۵۶ درصـد بـود. هـم چنیـن درصـد کارایـی تیمـار گوگـرد میکرونیـزه یـک درصـد، در زمان‌هـای ۳، ۷، ۱۴ و ۲۱ روز پـس از محلول‌پاشـی، به‌ترتیـب بـا میانگیـن کارایـی ۹۶/۱۱، ۷۰/۷۹، ۸۷/۶۵ و ۵۱/۷۰ درصـد بـود. نتایـج نشـان داد کـه اخـتلاط گوگـرد میکرونیـزه موجـب افزایـش کارایـی کائولیـن می‌گـردد. بـر ایـن اسـاس بـا توجـه بـه تاثیـر مطلـوب اخـتلاط گوگـرد میکرونیـزه در کاهـش جمعیـت پوره‌هـا، محلول‌پاشـی درختـان پسـته بـا کائولیـن فـرآوری شـده و گوگـرد میکرونیـزه میتوانـد بـه طـور موفقیت‌آمیـزی جمعیـت پـوره پسـیل معمولـی پسـته را کنتـرل نمایـد (Bakhtiari Torbati et al., 2016). بـررسی اثـر گوگـرد روی پسـیل معمولـی پسـته و اثـرات احتمـالی آن روی درختـان پسـته، تحقیقـی در سـال۱۳۹۶ انجـام شـد. ایـن آزمایـش در قالـب طـرح بلـوک کامـل تصـادفی بـا پنـج تیمـار و چهـار تکـرار اجـرا گردیـد. تیمارهـا شـامل گوگرد میکرونیـزه (۳۰ کیلـو در هـزار لیتـر آب + ۲ لیتـر صابـون محلـول-پـاشی)، گوگرد مایـع ۴۰ درصـد (۵ / ۲لیتـر در هـزار لیتـر آب)، گوگـرد وتابـل ۸۰ درصـد (۵ کیلوگـرم در هـزار لیتـر آب)، آفتکـش فوزالـون (۲ لیتـر + ۲ لیتـر صابـون محلـول پـاشی در هـزار لیتـر آب) و آب (شـاهد) بـود. نتایـج آزمایـش نشـان داد کـه در نمونـه بـرداری ۲۱ روز بعـد از محلـول پـاشی، درصـد تاثیـر تیمـار گوگرد میکرونیـزه و گوگرد وتابـل تفـاوت معنیـداری نداشـت و کمتریـن درصـد تاثیـر مربـوط بـه تیمـار فوزالـون بـود. گوگـرد میکرونیـزه در مقایسـه بـا سـایر تیمارهـا عملکـرد بهتـری در کاهـش جمعیـت پـورهی پسـیل معمـولی پسـته در زمـان هـای نمونـه بـرداری ۱۴ و ۲۱ روز بعـد از محلـول پـاشی داشـت. در تیمـار گوگرد میکرونیـزه علیرغـم تخـم ریـزی هـای حشـرات بالـغ، میانگیـن جمعیـت پـوره تـا ۶۳

روز بعد از گوگردپاشی روی هر برگچه کمتر از هفت پوره بوده است. نتایج بررسی اثرات جانبی گوگرد از نظر ایجاد لکه های سوخته شده روی برگ پسته نشان داد که در تیمارهای پودر گوگرد میکرونیزه و گوگرد مایع لکه های سوخته توسعه یافته، مشاهده شد و نسبت به شاهد تفاوت معنی دار داشته است (Mohammadinia and Emami, 2018).

در تحقیقی اثر حشره کشی گوگرد معدن زرکوه برای کنترل پسیل معمولی پسته در استان کرمان بررسی شد. تیمارهای گوگرد معدن زرکوه شامل غلظت های ۲۵-۲۰، ۳۵-۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۰ کیلو گرم در هزار و ترکیب شیمیایی ایمیداکلوپراید و اسپیروتترامات با غلظت های ۰/۵ در هزار و شاهد به صورت آبپاشی جهت معیار مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در نمونه برداری دو روز پس از محلول پاشی میانگین درصد تاثیر غلظت ۲۵-۲۰ گوگرد معدن زرکوه در کاهش جمعیت پسیل معمولی پسته نسبت به سایر غلظت های گوگرد معدن زرکوه و حشره کش ایمیداکلوپراید کمتر بود، هرچند تفاوت آن با سایر غلظت های گوگرد معدن زرکوه معنی دار نبود. در نمونه برداری هفت روز پس از محلول پاشی، غلظت ۷۰ کیلوگرم در هزار گوگرد معدن زرکوه بیش ترین تاثیر را در کاهش جمعیت پسیل معمولی پسته داشت، به طوریکه تفاوت آن با ترکیب شیمیایی ایمیداکلوپراید و اسپیروتترامات معنی دار بود. در نمونه برداری ۱۴ و ۲۱ روز پس از محلول پاشی، میانگین درصد تاثیر غلظت های ۶۰ و ۷۰ کیلو گرم در هزار گوگرد معدن زرکوه نسبت به سایر تیمارها بیش تر بود. اما تفاوت آن با ایمیداکلوپراید معنی دار بود. در کل تاثیر گوگرد معدن زرکوه در اغلب موارد با افزایش غلظت افزایش یافت. به همین دلیل توصیه می شود در تراکم بالای آفت که نیاز به کنترل سریع آن می باشد از غلظت ۶۰ و ۷۰ کیلو گرم در هزار استفاده شود. نتایج نشان داد که میزان مرگ ومیر پسیل معمولی پسته تا سه الی چهار هفته بعد از محلول پاشی نسبت به هفته اول و دوم افزایش یافت، اما پس از آن به تدریج کاهش می یابد. غلظت های ۲۵-۲۰ تا سه هفته روی پسیل معمولی پسته تاثیر نسبی داشتند. اما با افزایش غلظت در بعضی موارد تا شش هفته جمعیت پسیل معمولی پسته را زیر سطح زیان اقتصادی قرار دادند. این محققین گزارش کردند که با توجه به نتایج، استفاده از غلظت های ۳۵ تا ۷۰ کیلو گرم در هزار گوگرد معدن زرکوه بسته به میزان تراکم پسیل معمولی پسته قابل توصیه می باشد. بدین ترتیب غلظت های ۳۵ تا ۴۵ برای تراکم های کم و متوسط پسیل معمولی پسته و غلظت های ۶۰ و ۷۰ کیلو گرم در هزار در تراکم های بالاتر آفت به کار رود. کاربرد گوگرد معدن زرکوه با سوختگی های جزئی روی برگ ومیوه همراه بود (Kazemi et al., 2016).

تاثیر ترکیبات معدنی گوگرد، ولاستونیت، بیوتیت، زئولیت، گرافیت، پرلیت و فلدسپات روی میزان تخمریزی و تاثیر زئولیت روی تفریخ تخم پسیل معمولی پسته در دو سال ارزیابی شد. از هر یک از ترکیبات معدنی سه غلظت ۵۰۰۰، ۲۵۰۰۰ و ۵۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر تهیه شد. هفت روز بعد از کاربرد تیمارها نمونه برداری انجام شد. نتایج نشان داد که برگ های تیمار شده با ترکیب معدنی فلدسپات (۰/۰۰ ± ۰/۰۱)، زئولیت (۰/۰۰۱ ± ۰/۰۷) و پرلیت (۰/۰۲۱ ± ۰/۹۷) در غلظت ۵۰۰۰۰ میلی گرم بر لیتر بیش ترین کاهش میزان تخم ریزی پسیل معمولی پسته را در سال اول سبب شدند. اما در دومین سال تحقیق، برگ های تیمار شده با ترکیب معدنی زئولیت و بیوتیت به ترتیب سبب کاهش و افزایش معناداری روی میزان تخم ریزی پسیل معمولی پسته در مقایسه با شاهد شدند. تیمار زئولیت هیچ تاثیری در فرایند تفریخ تخم پسیل معمولی پسته نداشت. در کل نتایج نشان داد که کاربرد برگی ترکیبات معدنی فلدسپات، زئولیت، و پرلیت در کاهش میزان تخم ریزی پسیل معمولی پسته و کنترل آن موثر هستند (Baghodrat et al., 2021). گزارش شده است که گوگرد هیچ تاثیری روی فرایند تفریخ تخم پسیل معمولی پسته ندارد (Panahandeh, 2019). این مطلب نشان می دهد که ساختار تخم به گونه ای است که از آن در مقابل عوامل خارجی محافظت می کند. ثابت شده است که ترکیباتی که جاذب الرطوبه هستند روی تفریخ تخم تاثیری ندارند (Panahandeh, 2019).

در تحقیقی با هدف بررسی اثرات محلول‌پاشی گوگرد معدن زرکوه (پایه معدنی) در باغ‌های پسته از جنبه‌های کنترل پسیل معمولی پسته، خسارت‌های احتمالی برگ و میوه، تاثیر بر خصوصیات رویشی و عملکرد کمی و کیفی ارقام تجاری پسته و تأثیر بر خصوصیات کیفی (ترکیبات مغز میوه، رؤیت و بازارپسندی) میوه پسته و بررسی اقتصادی و سنجش میزان رضایت کشاورزان از کاربرد گوگرد معدن زرکوه جهت کنترل آفت پسیل پسته مورد

ارزیابی قرار گرفت. ارزیابی اثر گوگرد معدن زرکوه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه باغ پسته، روی سه رقم تجاری پسته (اوحدی، اکبری و احمدآقایی) در مناطق پسته‌کاری شهرستان انار انجام شد. تیمارهای گوگرد معدن زرکوه شامل غلظت‌های ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۵، ۶۰ و ۷۰ کیلوگرم در هزار و آفت کش ایمیداکلوپراید، اسپیروتترامات و شاهد (آب‌پاشی و صابون‌پاشی) جهت معیارهای مقایسه در نظر گرفته شدند. نتایج این بررسی نشان داد در نمونه‌برداری هفت روز، غلظت ۷۰ کیلوگرم در هزار گوگرد معدن زرکوه بیش ترین میانگین درصد تاثیر را در کاهش جمعیت آفت داشت به‌طوری‌که تفاوت آن با دو حشره‌کش مورد مقایسه ایمیداکلوپراید و اسپیروتترامات معنی‌دار بود. در نمونه‌برداری‌های ۱۴ و ۲۱ روز بعد از محلول پاشی، میانگین درصد تاثیر غلظت‌های ۶۰ و ۷۰ کیلوگرم در هزار گوگرد معدن زرکوه، علاوه بر این‌که نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود، تفاوت معنی داری نیز با تیمار ایمیداکلوپراید داشتند. غلظت‌های ۲۰ و ۲۵ کیلوگرم تا سه هفته روی پسیل تاثیر نسبی داشتند ولی با افزایش غلظت گوگرد معدن زرکوه (۶۰ و ۷۰ کیلوگرم در هزار) تا شش هفته جمعیت پسیل زیر سطح زیان اقتصادی بوده و نیازی به سم پاشی مجدد نبود (Afrousheh et al., 2021b). نتایج خسارت‌های احتمالی گوگرد معدن زرکوه روی برگ، میوه و جوانه‌ها نشان داد که خسارتی در جوانه یا ریزش آن مشاهده نشد. عارضه‌های موجود روی میوه شامل سوختگی سطح میوه، ایجاد لکه‌های قهوه‌ای در پوست سطحی و خروج شیره از پوست روئی میوه پسته می‌باشند. نتایج نشان داد در کاربرد گوگرد معدن زرکوه، خسارت پایین بود و دمای بالا مهم ترین عامل خسارت میوه در ارقام مورد بررسی بودند. رقم اوحدی کم ترین خسارت میوه را در مقایسه با ارقام احمداقایی و اکبری داشت. بر اساس مطالعات میدانی، سایر خسارت‌های احتمالی مربوط به نحوه پاشش گوگرد می‌باشد (Afrousheh et al., 2021b). غلظت‌های بالای گوگرد معدن زرکوه (۶۰ و ۷۰ کیلوگرم) با کنترل موثر آفت پسیل، باعث افزایش سلامت و ماندگاری برگ‌ها در شاخه‌ها و در نتیجه کاهش دمای برگ، دمای تاج درخت و میوه و افزایش فتوسنتز خالص گردید. ارزیابی عملکرد محصول در ۳ رقم تجاری نشان داد که پاشش غلظت‌های مختلف گوگرد معدن زرکوه سبب کاهش معنی‌دار تعداد میوه در هر واحد اونس و افزایش معنی‌دار درصد عیار مغز در رقم احمدآقایی، افزایش معنی‌دار درصد خندانی و کاهش معنی‌دار درصد دانه های پسته ناخندان در دو رقم احمدآقایی و اوحدی نسبت به شاهد و آفت کش های شیمیایی گردید. نتایج کاربرد گوگرد معدن زرکوه در زمان‌های مختلف (صفر تا ۶۰ روز قبل از برداشت) بر ویژگی‌های کیفی محصول پسته نشان داد که گوگرد معدن زرکوه بر میزان چربی، رطوبت، پروتئین، عدد پراکسید، طعم و مزه، بو، رنگ پوست استخوانی و رنگ مغز و هم چنین بافت محصول تاثیر منفی نداشت. نتایج ارزیابی اقتصادی استفاده از گوگرد معدن زرکوه جهت مبارزه با پسیل پسته نشان داد که کاربرد گوگرد معدن زرکوه جهت مبارزه با پسیل پسته دارای صرفه اقتصادی می‌باشد (Afrousheh et al., 2021b).

تاثیر گوگرد روی برخی دشمنان طبیعی پسیل معمولی پسته

کاربرد گوگرد معدن زرکوه روی دو دشمن طبیعی مهم پسیل معمولی پسته یعنی زنبور پارازیتوئید *Psyllaephagus pistaciae* و کفشدوزک *Oenopia conglobata* نشان داد که گوگرد معدن زرکوه برای این دو حشره مفید به‌ترتیب بدون خطر و با خطر جزئی می باشد. در این تحقیق از غلظت ۶۰ کیلو گرم در هزار گوگرد معدن زرکوه روی مرحله حساس زنبور یعنی حشره کامل و مرحله لاروی کفشدوزک استفاده شد (Kazemi et al., 2016).

در تحقیق دیگری اثرات آفتکشهای استامیپراید، اسپیروتترامات و گوگرد روی پارامترهای زیستی کفشدوزک شکارگر *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) بررسی شد. در این مطالعه، تأثیر سه آفت‌کش استامیپراید، اسپیروتترامات و گوگرد روی میزان مرگومیر لاروهای سن اول و چهارم، درصد بقا حشرات کامل، طول دوره رشدی مراحل مختلف و ویژگی های تولیدمثلی و تغذیه کفشدوزک *H. variegata* بررسی شد. تخم، لارو سن اول، لارو سن چهارم و حشره کامل ماده در معرض تماس با غلظت های مختلف این آفت کش ها قرار گرفتند. کلیه آزمایش ها تحت طرح فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کاملا تصادفی انجام شدند. نتایج نشان دادند که آفت کش های مختلف با غلظت های متفاوت استفاده شده، تأثیر منفی روی طول دوره رشدی تخم، لارو، شفیره و دوره پیش از تخم ریزی و هم چنین پارامترهای درصد تفریخ تخم و خروج حشرات کامل داشتند. روند تغذیه حشرات کامل تیمار شده نیز نشان داد که تأثیر هر سه آفت کش وابستگی مستقیم به غلظت دارد.

هم چنین، نتایج نشان داد که باروری و تولیدمثل کفشدوزک *H. variegata* تحت تأثیر تیمارهای مختلف آفت کش و غلظت های متفاوت قرار گرفت. بیش ترین میزان کاهش پارامترهای میزان تخمریزی حشرات ماده، درصد تفریخ تخم، میانگین تخم ریزی روزانه حشرات ماده و هم چنین درصد بقا حشرات کامل در آفت کش استامیپراید و در غلظت مزرعه مشاهده شد. نتایج این تحقیق نشان داد استامیپراید برای استفاده در کنترل تلفیقی پسیل معمولی پسته همراه با *H. variegate* گزینه مناسبی نیست ولی استفاده از آفت کش های جایگزین مانند اسپیروتترامات و آفت کش های معدنی مانند گوگرد با تأثیر کمتر روی این کفشدوزک و با انجام آزمایشهای تکمیلی می تواند به کشاورزان در استفاده بهینه از آن ها در کنترل تلفیقی آفت و کاهش خسارت آن کمک کند (Erfani Nategh et al., 2023). نتایج این محققین نشان دهنده این موضوع است که آفت کش استامیپراید اثرات بیش تری در مرگومیر لاروهای سن اول کفشدوزک دارد درحالی که آفت کش گوگرد می تواند در غلظتهای مزرعه ای اثرات کمتری روی مرگومیر لاروهای کفشدوزک داشته باشد. به طورکلی نتایج بیانگر تأثیر وابسته به غلظت در مورد هر سه سم رایج اسپیروتترامات و استامیپراید و آفت کش معدنی گوگرد است. با توجه به اینکه اسپیروتترامات با مهار آنزیم استیل کولین کربوکسیلاز بیوسنتز چربی ها را مختل می کند و استامیپراید با گیرنده های نوع نیکوتینی استیل کولین واکنش داده و باعث اختلال عصبی-ماهیچه ای می شود، بنابراین هر دو آفت کش با تأثیر بر سیستم عصبی باعث مرگ سریع حشره حتی در غلظت های پایین می شوند (Erfani Nategh et al., 2023). در صورتی که گوگرد یک آفت کش تنفسی است که با بخار شدن به گاز سولفید هیدروژن تبدیل شده و باعث اختلال در سیستم تنفسی حشره می شود. بنابراین تأثیر آن به شرایط محیطی از جمله وزش باد، غلظت گاز تشکیل شده و عوامل دیگر بستگی دارد. نکته مهم در تمام موارد اثربخشی آهسته این عنصر می باشد (Erfani Nategh et al., 2023). نتایج این محققین مشخص کرد که آفت کشهای اسپیروتترامات و گوگرد مورداستفاده در این تحقیق اثر سوء بسیار کمتری روی کفشدوزک *H. variegata* به عنوان دشمن طبیعی پسیل معمولی پسته نسبت به آفت کش استامیپراید داشتند (Erfani Nategh et al., 2023). نتایج بیانگر این است که هم زمان با حضور پسیل معمولی پسته، دشمنان طبیعی این آفت نیز شروع به فعالیت می کنند. در این زمان نوع آفت کش مصرفی نقش بسزایی در حفظ و حمایت از دشمنان طبیعی به ویژه زنبورهای پارازیتوئید و کفشدوزک ها را دارد. بنا به ضرورت استفاده از ترکیبات شیمیایی جهت کنترل آفت، آفت کش استامیپراید به دلیل اثرات کشندگی کمتر روی پسیل پسته و اثر سوء روی دشمنان طبیعی این آفت توصیه نمی شود. آفت کش های جایگزین مانند اسپیروتترامات و گوگرد با تأثیر سوء بسیار کمتری که نسبت به آفت کش شیمیایی استامیپراید روی دشمنان طبیعی پسیل پسته داشته و با توجه به اینکه دارای سمیت کمتری برای انسان و محیط زیست بوده می توانند با انجام آزمایشات بیش تر و کامل تر به عنوان یکی از گزینه های کنترلی در برنامه مدیریت تلفیقی این آفت مطرح باشند (Erfani Nategh et al., 2023).

Jafari Nadooshan et al. (2024) گزارش کردند شکارگر فعال پسیل معمولی پسته، بالتوری سبز *Chrysoperla carnea* Stephens (Neuroptera: Chrysopidae) می‌باشد و در اکثر مناطق پسته کاری کشور دیده می شود. در دهه‌ی گذشته از فرم های مختلف گوگرد برای کنترل پسیل معمولی پسته استفاده شده است. تأثیر گوگرد فرموله شده (پودر وتابل ۸۰ درصد) روی فراسنجه‌های جدول زندگی بالتوری سبز توسط این محققین ارزیابی شد. تخم های دو روزه بالتوری در غلظت‌های ۱۵۰۰ و ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام گوگرد به روش غوطه وری تیمار شدند. لاروها پس از تفریخ روی لایه نازک خشک شده غلظت‌های ذکر شده گوگرد در اتاقک رشد با دمای ۲۶±۲ درجه سلسیوس، رطوبت نسبی ۵±۶۵ درصد و دوره نوری ۱۶ ساعت روشنایی به ۸ ساعت تاریکی پرورش داده شدند. میزان مرگ‌ومیر ، طول دوره رشدی مراحل نابالغ، هم چنین مدت زنده مانی و تخم ریزی حشرات بالغ ثبت و فراسنجه‌های جدول زیستی محاسبه شد. نتایج نشان داد که میزان تلفات بالتوری سبز در مراحل نابالغ (از تخم تا حشره کامل) در غلظت‌های ۱۵۰۰، ۲۵۰۰ و ۴۰۰۰ پی‌پی‌ام گوگرد به ترتیب ۴۳/۷، ۵۸/۹ و ۶۹/۲ و در شاهد ۱۴/۴ درصد بوده است. تمام غلظت های بررسی شده موجب کاهش معنی‌دار طول دوره رشدی مراحل نابالغ، طول عمر حشرات کامل و باروری کل نسبت به تیمار شاهد شدند. نرخ ذاتی افزایش جمعیت (r) در غلظت‌های ۴۰۰۰ ، ۲۵۰۰ و ۱۵۰۰ پی‌پی‌ام و شاهد به‌ترتیب ۰/۰۱ ± ۰/۰۵، ۰/۰۱ ± ۰/۰۶۸، ۰/۰۰۶ ± ۰/۰۹ و ۰/۰۳

± ۰/۱۱ بـر روز، نـرخ ناخالـص تولیـد مثـل (GRR) بهترتیـب برابـر بـا ۳/۹ ± ۲۳/۶، ۵/۹ ± ۳۶/۴، ۹/۸ ± ۵۹/۰۳ و ۱۵/۴ ± ۸۱/۸ (نتاج/ماده/نسـل)، نـرخ خالـص تولیـد مثـل (R0) بهترتیـب برابـر بـا ۱/۴ ± ۶/۱، ۲/۶۷ ± ۱۲/۷، ۵/۷ ± ۲۹/۲۵ و ۷/۳ ± ۶۱/۲۲ (نتاج/ماده/نسـل) بودنـد. همـه فراسـنجه هـا در هـر سـه تیمـار بـا شـاهد و بـا یکدیگـر در سـطح احتمـال ۵ درصـد اخـتلاف معنیـدار داشـتند. نتایـج ایـن تحقیـق در شـرایط آزمایشـگاهی نشـان داد کـه کاربـرد گوگـرد بـر کارایی بالتـوری سـبز، تأثیـر نامطلـوب دارد و بایـد در مـورد نحـوه و زمـان کاربـرد گوگـرد در قالـب یـک برنامـه‌ی مدیریـت تلفیـقی آفـت، تدابیـر لازم اندیشـیده شـود، تـا بـر مراحـل حسـاس ایـن شـکارگر اخـتلالی ایجـاد نکنـد (Jafari Nadooshan et al., 2024).

نتیجه گیری

بـا توجـه بـه نتایـج تحقیقـات انجـام شـده می تـوان گوگـرد را نسـبت بـه آفـت کـش هـای شـیمیایی، یـک ترکیـب ایمـن، موثـر و سـازگار، قبـل از مرحلـه بحـرانی رشـد میـوه پسـته یعـنی قبـل از بـه مغـز رفتـن اسـتفاده نمـود. گوگـرد می توانـد درختـان پسـته را از هجـوم ایـن آفـت در انبـوهی پاییـن جمعیـت محافظـت کنـد. لـذا اهتمـام بـر گوگردپـاشی درختـان در اول فصـل بـرای ممانعـت از تخـم ریـزی آفـت نقـش بـه سـزائی در کاهـش مصـرف آفـت کـش هـای خطرنـاک شیمیـایی و کنتـرل آفـت دارد. اسـتفاده پیشـگیرانه از گوگـرد می توانـد ابـزاری ارزشـمند در مدیریـت تلفیـقی پسـیل معمـولی پسـته بـه ویـژه بـرای تولیـد پسـته سـالم باشـد و باعـث بهبـود صفـات کمـی و کیفـی میـوه پسـته شـود. البتـه لازم اسـت هنـگام اسـتفاده از گوگـرد بـه حساسـیت ارقـام پسـته، زمـان فعالیـت مراحـل حسـاس رشـدی دشـمنان طبیعـی و سـاعت کاربـرد آن در طـول روز توجـه ویـژه داشـت تـا بـا کـم تریـن تاثیـر روی دشـمنان طبیعـی و ممانعـت از ایجـاد علائـم سـوختگی روی بـرگ و میـوه پسـته، پسـیل معمولـی پسـته را کنتـرل نمـود.

منابع

1. Afrousheh, M., Hasheminasab, H. and Arab H. 2021. Possible Damages of Sulfur Foliar Application in Commercial Pistachio Cultivars: hallenges and Solutions. Horticultural Sciences Research Institute, Pistachio research center, publication, 20 P. (In Persian)
2. Afrousheh, M., Kazemi, F. Hasheminasab, H., Shaker Ardakani, A. and Abdollahi Ezatabadi, M. 2021. The effect of Zarkooh Mine sulfur spraying in pistachio orchards on common pistachio psylla control, leaf and fruit possible damage, horticultural indices, the quality characteristics of pistachio nut and its economic investigation. Horticultural Sciences Research Institute, Pistachio research, publication, 127 P. (In Persian)
3. Alizadeh, A., Kharrazi Pakdel, A., Talebi-Jahromi, K.H. and Samih, M.A. 2007. Effect of some *Beauveria bassiana* (Bals.) Viull. isolates on common pistachio psylla *Agonoscena pistaciae* Burck. and Laut. International Journal of Agriculture and Biology, 9(1): 76-79.
4. Baghodrat Gh., Ahmadi K. and Valizadeh B. 2021. The effect of sulfur, Wollastonite, biotite, zeolite, graphite, perlite, and feldspar on oviposition and egg hatching of common pistachio psylla *Agonoscena pistaciae* Burckhardt & Lauterer (Hem.: Psyllidae) in orchard conditions. Pistachio and Health Journal, 4 (2): 65-74.
5. Bahadur, N., Azimizadeh, N. and Ahmadi, K. 2020**.** The effect of plant extracts of bitter gourd, solid sulfur and flupyradifurone and thiacloprid pesticides on common pistachio psyllid nymphs. Fifth National Conference on Biodiversity and its Impact on Agriculture and the Environment, Urmia. (In Persian)

6. Torbati, S., Farazmand, H., Jebeleh, A., Ramazani Moghadam, M.R., Sirjani, M. and Heshmat Pejoh, H. 2016. The effect of mixing micronized sulfur with processed kaolin on *Agonoscena pistaciae* in Kashmar region. The abstracts of the 24th Iranian Plant Protection Congress, Karaj, 827 P. (In Persian)
7. Erfani Nategh, M., Mahdian, K. and Izadi, H. 2023. Effects of Acetamiprid, Spirotetramat and Sulfur on Biological Parameters of the Predatory Coccinellid *Hippodamia variegata* (Col.: Coccinellidae). Journal of Pistachio Science and Technology, 8 (14): 51-81. (In Persian)
8. Griffith, C.M., Woodrow, J.E. and Seiber, J.N. 2015. Environmental behavior and analysis of agricultural sulfur. Pest management science, 71(11): 1486-1496.
9. Jafari Nadooshan, A., Khani. A., Heidari A. and Mirshekar, A. 2024. Effect of recommended doses of sulfur on life table parameters of green lacewing *Chrysoperla carnea* (Stephens), predator of pistachio psyllid. Plant Protection. Scientific Journal of Agriculture, 47(3): 23-40. (In Persian)
10. Kamyab, F., Rad, A., Zohdi, H. and Hosseinkhani, M. 2024. Studying the effect of Zarkuh sulfur on *Agonoscena pistaciae.* The abstracts of the 24th Iranian Plant Protection Congress, Tehran, 366 P. (In Persian)
11. Kazemi, F. 2020. Effects of Zarkooh Mine Sulfur on Common pistachio psyllid (*Agonoscena pistaciae* Bur. & Lau.) population in pistachio orchards in Kerman province and its side effects on two beneficial insects. Final Report of Project, 36 P. (In Persian)
12. Khater, H.F. 2012. Prospects of botanical biopesticides in insect pest management. Pharmacologia, 3(12): 641-656.
13. Mehrnejad, M.R. 2002. Bionomics of the common pistachio psylla, *Agonoscena pistaciae*, in Iran. Acta Horticulturae, III International Symposium on Pistachios and Almonds, 591: 535-539.
14. Mohammadinia, S. and Emami, S. Y. 2018. Investigating the possibility of using sulfur to control of *Agonoscena pistaciae* in Anar region. 2nd Iranian Pistachio Conference, Rafsanjan. (In Persian)
15. Panahandeh S. 2019. Investigation of insecticidal effects of mineral fertilizers on common pistachio psyllids *Agonoscena pistaciae* Burkhhardt and Lauterer (Hem: Psyllidae) by foliar application, M.Sc. Thesis. Shahid Bahonar University of Kerman, 117 P. (In Persian).
16. Pérez-Guerrero, S. and Molina, J.M. 2016. Laboratory approach to the use of sulphur and kaolin as preventive control against *Drosophila suzukii.* Spanish Journal of Agricultural Research, 14(2): 1-6.
17. Rakhshani, E. 2015. Principles of Agricultural Toxicology (pesticides). Fathang Jameh Publication, 446 P. (In Persian)
18. Samih, M.A., Alizadeh, A. and Saberi Riseh, R. 2005. Pistachio Pests and Diseases in Iran and Their IPM. Organization of Jihad-e-University, Tehran.
19. Shabani Brogeni, F. 2016. Botanical and natural pesticides. Agricultural and Natural Resources Research and Education organization of Chaharmahal and Bakhtiari, 39 P. (In Persian)

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

Optimization of the micropropagation protocol for the UCB1 pistachio rootstock

***Fereshteh Kamiab**

Associate Professor, Department of Horticulture-Ornamental Plants, Raf.C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran.

*Corresponding author: fereshteh.kamiab@iau.ac.ir

Recieved:2025/9/12 Accepted:2025/9/17

Abstract

Rootstock propagation is one of the most important applications of tissue culture and this industry has been expanding in recent years. UCB1 root stock pistachio is also one of the important rootstocks that is economically important for agriculture due to its good attributesits. Considering its signifigence in agriculture industry, a study that determines the optimization of the micropropagation process of UCB1 pistachio in tissue culture conditions should be considered. The present study was conducted to develop an efficient protocol for in vitro organogenesis of pistachio through various optimizations of growth regulators. MS medium containing BAP (2mg/l) was the most suitable combination for bud establishment. shoots were cut into approximately 5-centimeter pieces and used in MS culture media containing 2 mg/l BAP Then, they were transferred to culture medium containing different concentrations of BAP (1-0.5-1.5-2 mg/L). The highest growth and regeneration rate of branches were observed in the DKW medium containing 1.5 mg/l BAP. The shoots were rooting in the medium with 2 mg/l IBA after the second cultivation and compatibility was done with 80% survival in peat moss and perlite. The results of the studies also showed that best regeneration in the culture medium containing 1.5 mg/l BAP was observed.

Keywords: Micropropagation, optimization, pistachio rootstock, shoot regeneration

Published by Islamic Azad University, Rafsanjan .This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Extended abstract

Introduction

Rootstock selection, indispensable for fruit cultivation, has become one of the significantly followed topics of research and development worldwide and in our country. The selection and use of rootstocks in fruit cultivation are extremely important. In recent years, there has been an increasing interest in clonal rootstocks with superior characteristics. The main desired features in clonal rootstocks include ease of propagation, uniform growth, possession of a vigorous root system, absence of graft incompatibility, resistance to various diseases and pests, good tolerance to abiotic stress conditions, reduction of the juvenile period of the grafted variety, positive effects on fruit yield and quality, and alternate bearing. The use of rootstocks obtained through vegetative propagation methods is rapidly increasing in world fruit cultivation. Research continues on the propagation of pistachio rootstocks through tissue culture, one of the vegetative propagation methods. *Pistacia* species are generally heterozygous and display segregation when propagated by seeds. Pistachio rootstocks propagated by seeds cause a decrease in yield and irregularities in newly established and old orchards. For this purpose, the micropropagation method under in vitro conditions offers a significant advantage for the production of Pistacia species. The micropropagation method facilitates the production of disease-free plant material, a high multiplication rate, ease in healthy plant production, and the ability to produce irrespective of the vegetative period. In recent years, with the introduction of vegetatively propagated rootstocks, producer's tendencies to use these rootstocks have increased. This will lead to uniformity in pistachio orchards in the near future. UCB-1 (*P. atlantica* x *P. integerrima*), a hybrid rootstock widely used and clonally propagated among Pistacia rootstocks, is obtained through interspecific hybridization breeding. It has become a preferred rootstock in the establishment of pistachio orchards. It is a strong rootstock that provides high yields in gardens where irrigation is available. It has high tolerance to salinity and cold (Jacygrad et al., 2020; Raoufi et al., 2020). This study aims to investigate the possibilities of micropropagation under in vitro conditions, a vegetative propagation method for UCB-1 rootstock, a hybrid of Pistacia atlantica and Pistacia integerrima. The performance of UCB-1 rootstock under in vitro conditions will be determined with different applications during the shoot formation and rooting stages.

Materials and Methods

This experiment was conducted in 1401 with the aim of optimizing the microbiology protocol of the ornamental plant Philodendron Black in the tissue culture laboratory of the Department of Agricultural Sciences, Islamic Azad University of Rafsanjan. Plant samples (whole plants) were divided into smaller pieces using a sharp blade and superficial washing with running water for 30-40 minutes. After that, the samples were exposed to 70% alcohol under a laminar hood for 45 seconds and then exposed to 2.5% sodium hypochlorite with one to two drops of Tween 20 for 15 minutes and finally washed three to five times with sterile distilled water. shoots were cut into approximately 5-centimeter pieces and used in MS culture media containing 2 mg/l BAP. Then, they were transferred to culture medium containing different concentrations of BAP (1-0.5-1.5-2 mg/L). The culture containers were transferred to a growth room with a photoperiod of 16 hours of light and 8 hours of darkness, a light intensity of 3000 lux, and a temperature of 26 ± 1°C. regeneration percentage, number of leaves, and seedling length were evaluated after thirty days. After several stage of proliferation, strong shoots were placed in rooting medum culture containing 2 mg/l of IBA. After rooting stage, plants were adapted in peat moss and perlite.

Results and Discussions

Multiple shoots were induced from nodal segments of mature trees of *Pistacia vera* L. on Murashige and Skoog (MS) medium supplemented with benzylaminopurine (BAP). Maximum shoot production was obtained from shoot tips taken from in vitro proliferated shoots when cultured on solidified DKW medium containing 1.5 mg/l BAP on the 30th day. Rooting of microshoots was achieved in 1/2 MS medium supplemented with indole butyric acid (IBA). Rooted plantlets reassumed independent growth after a short period of acclimatisation. Stable regenerated plants were established in the greenhouse.

Conclusion

In the study, the shoot medium containing BAP hormone yielded positive results. It was determined that the dose of 1/5 mg L-1 BAP provided the best results in terms of duration of shooting, However, in the study, rooting did not occur in the plantlets and transferred to the rooting medium.

vitrification is a common problem in in vitro micropropagation. With this phenomenon, a watery and transparent appearance of foliage and foliage with stem and wind are seen. The leaves have fewer stomata and the cuticle is usually very thin, and many of the stomata may have lost their function. There are several reports showing the effects of high levels of benzyl adenine on the development of vitrification. This experiment showed that High temperature in growth chamber increased vitirification and also, high agar concentration (7 g/l) decreased this problem.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

بهینه سازی پروتکل ریزازدیادی پایه پسته UCB1

فرشته کامیاب*

دانشیار، گروه کشاورزی باغبانی-گیاهان زینتی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران.

* ایمیل نویسنده مسئول:

fereshteh.kamiab@iau.ac.ir

دریافت : ۱۴۰۴/۶/۲۱ پذیرش : ۱۴۰۴/۶/۲۶

چکیده

تکثیر پایه های درختان میوه یکی از مهم‌ترین کاربردهای کشت بافت محسوب می‌شود و این صنعت در طی سالیان اخیر در حال گسترش بوده است. پایه رویشی پسته UCB1 نیز یکی از مهمترین پایه های درخت پسته است که به دلیل رشد زیاد و عملکرد زیاد و مقاومت به بیماری ها از نظر اقتصادی اهمیت زیادی برای کشاورزان و باغداران دارد. با توجه به گرایش زیاد کشاورزان و بهره اقتصادی مناسب این پایه اصلاح شده، انجام تحقیقی که بهینه سازی فرآیند ریزازدیادی پسته UCB1در شرایط کشت بافت را مشخص نماید، ضروری به نظر می‌رسد. مطالعه حاضر به منظور فراهم ساختن پروتکلی کارآمد برای ریزازدیادی درون شیشه ای این پایه از طریق بهینه سازی غلظت های مختلف تنظیم کننده های رشد انجام گرفته است. ریز نمونه های جوانه انتهایی و جانبی به محیط استقرار حاوی ۲ میلی گرم در لیتر BAP منتقل شدند و سپس بعد از رشد جوانه ها به منظور پراوری به محیط های حاوی غلظت های مختلف BAP (۱- ۰/۵-۱/۵-۲ میلی گرم در لیتر) انتقال یافتند. بیش ترین میزان رشد و میزان باززایی شاخساره در محیط کشت حاوی ۱/۵ میکروگرم در لیتر BAP مشاهده گردید. گیاهچه ها در محیط کشت حاوی ۲ میلی گرم در لیتر از هورمون اسید اینول بوتیریک ۷۵ درصد ریشه دادند. و با ۸۰ درصد زنده مانی در پیت ماس و پرلیت سازگار شدند. بنابراین مناسب ترین محیط کشت برای پراوری محیط کشت حاوی۱/۵ میلی گرم در لیتر BAP پیشنهاد می گردد.

واژگان کلیدی: باززایی شاخساره، بهینه سازی، پایه پسته ، ریزازدیای

انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد با گواهی CC BY-NC ۴.۰ صورت گرفته است.

/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

مقدمه

انتخاب پایه (Rootstock) که برای کشت درختان میوه ضروری است، به یکی از موضوعات مهم تحقیق و توسعه در سراسر جهان و کشور ما تبدیل شده است. انتخاب و استفاده از پایه‌ها در کشت میوه اهمیت بسیار زیادی دارد. در سال‌های اخیر، علاقه‌مندی به پایه‌های کلونال با ویژگی‌های برتر افزایش یافته است. ویژگی‌های مطلوب در پایه‌های کلونال شامل سهولت در تکثیر، رشد یکنواخت، داشتن سیستم ریشه‌ای ،عدم ناسازگاری پیوند، مقاومت در برابر بیماری‌ها و آفات، تحمل مناسب در برابر تنش‌های غیرزیستی، کاهش دوره نو نهالی پیوند، اثرات مثبت بر عملکرد و کیفیت میوه و کاهش تناوب باردهی می باشد (Ak and Korkmaz, 2019)

۱/۵پسته‌ای که از طریق بذر تکثیر می‌شوند، باعث کاهش عملکرد و بی‌نظمی در باغ‌های جدید و قدیمی می‌شوند. هم ۹۵چنین، نرخ موفقیت پیوند بین پایه و پیوندک نیز پایین است. مشخص شده است که نرخ جوانه‌زنی بذرهای گونه‌های پسته بسیار پایین است که این موضوع به‌ویژه برای تولیدکنندگان نهال یک مشکل مهم محسوب می‌شود .(Beede, 2017; Jacygrad et al., 2020)

برای حل این مشکل، روش ریزازدیادی (Micropropagation) در شرایط آزمایشگاهی (in vitro) مزیت قابل توجهی برای تولید گونه‌های پسته فراهم می‌کند. این روش امکان تولید مواد گیاهی عاری از بیماری، نرخ تکثیر بالا، سهولت در تولید گیاه سالم و تولید مستقل از فصل رشد را فراهم می‌سازد (Iliev et al., 2010). در سال‌های اخیر، با معرفی پایه‌های تکثیر شده به‌صورت رویشی، تمایل تولیدکنندگان به استفاده از این پایه‌ها افزایش یافته است. این امر در آینده نزدیک منجر به یکنواختی در باغ‌های پسته خواهد شد. افزون بر این، پایه‌های کلونال دارای ویژگی‌های مثبتی مانند تحمل در برابر تنش‌های زیستی و غیرزیستی هستند که علاقه‌مندی به تولید و تکثیر آن‌ها را افزایش داده است (Aghasi Kermani et al., 2017).

پایه هیبریدی UCB-1 (ترکیبی از *P. atlantica* و *P. integerrima*) یکی از پایه‌های پسته‌ای است که به‌طور گسترده استفاده شده و به‌صورت کلونال تکثیر می‌شود. این پایه از طریق اصلاح نژادی بین‌گونه‌ای به‌دست آمده و در سال‌های اخیر به پایه‌ای ترجیحی برای احداث باغ‌های پسته تبدیل شده است. این پایه قوی بوده و در باغ‌هایی که آبیاری مناسب دارند، عملکرد بالایی ارائه می‌دهد. هم چنین، تحمل بالایی نسبت به شوری و سرما دارد (Jacygrad et al., 2020; Raoufi et al., 2020).

کشت‌های آزمایشگاهی گونه‌های *Pistacia* با نرخ تکثیر بالا معمولاً به غلظت‌های نسبتاً بالای سیتوکنین برای تکثیر نیاز دارند (Benmahioul, 2017) و پس از آن، برای دستیابی به حداکثر ریشه‌زایی، به غلظت‌های بالای اکسین نیاز است (Tilkat et al., 2009).

مطالعه‌ای دیگر نشان داد که نهال‌های *P. vera* در محیط‌هایی حاوی یکی از سه نوع مختلف سیتوکنین، از جمله meta-Topolin (mT) یا ۶-benzylaminopurine (BAPP)، عملکرد متفاوتی دارند (. کلونال مشتق‌شده از نهال‌های *P. vera* در محیط‌های حاوی mT به‌عنوان تنظیم‌کننده اصلی رشد گیاه، شاخه‌های قابل استفاده بیشتری تولید کرده و درصد گیاهچه‌های ریشه‌دار به‌طور قابل توجهی بالاتر بود، در مقایسه با محیط‌هایی که حاوی BAP بودند.

بر اساس مطالعات محققان انتظار می‌رود که شاخه‌های پسته کشت‌شده با mT حداقل به‌اندازه BAP در شاخص‌های کمی تکثیر شاخه (Benmahioul et al., 2012) مانند شاخه‌دهی، افزایش وزن تر، طول کل شاخه‌ها) عملکرد داشته باشند. همچنین، استفاده از سیتوکنین mT احتمالاً باعث بهبود عملکرد ریشه‌زایی در مراحل بعدی خواهد شد.

در گزارش دیگری نشان دادند که بیش ترین پراوری پسته UCB1 در محیط کشت MS با یک میلی گرم در لیتر BAPصورت گرفت(Ekinci.et al., 2023). هم چنین نشان داد که ترکیب هورمون های سیتوکینینی بنزیل امینو پورین (BAP) و متا توپولین با(mT) با غلظت های ۱۰ میکرومولار در لیتر بیشترین پراوری و شاخه زایی را در پسته UCB-1 ایجاد کرد. هدف این مطالعه بررسی امکان ریزازدیادی پایه UCB-1 در شرایط آزمایشگاهی (in vitro) به‌عنوان یک روش تکثیر رویشی است. عملکرد این پایه در مراحل تشکیل شاخه و ریشه‌زایی با کاربردهای مختلف بررسی خواهد شد.

مواد و روش ها

ایـن آزمایـش در سـال ۱۴۰۱ بـا هـدف بهینـه سـازی پروتـکل ریزازدیـای پایـه پسـته UCB1 در آزمایشـگاه کشـت بافـت گـروه علـوم کشـاورزی دانشـگاه آزاد اسلامی رفسـنجان انجـام گردیـد. نمونـه هـای گیـاهی (چوانـه هـای جانـبی و انتهـایی)از قسـمت هـای جـوان درختـدر فصـل بهـار جـدا شـدند و بـه وسیلـه تیـغ تیـز بـه قطعـات کوچـک تـر تقسیـم گردیدنـد و آبشـویی سـطحی بـا آب جـاری بـه مـدت ۴۰-۳۰ دقیقـه صـورت گرفـت. پـس از آن، نمونـه هـا در زیـر هـود لامینـار بـه مـدت ۴۵ ثانیـه در معـرض الـکل ۷۰٪ و سـپس بـه مـدت ۱۵ دقیقـه در معـرض هیپوکلریـت سـدیم ۲/۵٪ بـه همـراه یـک الی دو قطـره توایـن ۲۰ قـرار گرفتنـد و در نهایـت سـه الی پنـج مرتبـه بـا آب مقطـر اسـتریل شسـت و شـو شـدند. ریـز نمونـه هـای جوانـه در محیـط اسـتقرار MS حـاوی ۲ میـلی گـرم در لیتـر BAP و ۷ گـرم اگار قـرار گرفتنـد و پـس از ۳۰ الی ۴۰ روز شـاخه هـای رشـد کردخـه از جوانـه هـا جـدا گردیـد و بـه منظـور تکثیـر و پـراوری در محیـط کشـتDKW حـاوی غلظـت هـای مختلـف BAP (۱- ۰/۵-۱/۵-۲ میـلی گـرم در لیتـر) و ۶/۵ گـرم اگار انتقـال یافتنـد. ظـروف کشـت بـه اتـاق رشـد بـه دوره نـوری ۱۶ سـاعت روشـنایی و ۸ سـاعت تاریـکی و شـدت نـور ۳۰۰۰ لوکـس و دمـای روز ۱±۲۷ درجـه سـانتیگراد و دمـای شـب ۱±۲۵ انتقـال داده شـدند. درصـد شـاخه هـای جدیـد ایجـاد شـده و تعـداد بـرگ و طـول شاخسـاره ۲۸ روز بعـد از سـاب کاچـر انـدازه گیـری شـدند. سـپس شـاخه هـای بلنـد و رشـد یافتـه پـس از چنـد مرحلـه پـراوری و سـاب کالچـر قبـل از چـوبی شـدن بـه محیـط یـک دوم MS حـاوی ۲ میـلی گـرم در لیتـر هورمـون ریشـه زایی IBA منتقـل و پـس از ۲۰ روز ریشـه هـای سـتاره ای مشـخص گردیـد و در سـینی کشـت هـای ۱۱۲ حفـره ای کشـت گردیدنـد در گلخانـه سـازگاری مراحـل سـازگاری انجـام شـد نحـوه سـازگاری بـه ایـن صـورت بـود کـه طی دو هفتـه رطوبـت نسـبی از ۱۰۰ درصـد بـه ۵۰ درصـد کاهـش یافـت (دمـای محیـط سـازگاری ۲۲ تـا ۲۷ درجـه) و از زیـر پلاسـتیک سـازگاری خـارج گردیدنـد ودر محیـط طبیـعی گلخانـه قـرار گرفتنـد و ۸۰ درصـد گیاهـان سـازگار شـدند. مراحـل ریـز ازدیـادی از اسـتقرار تـا سـازگاری در شـکل یـک نشـان داده شـده اسـت.

شکل۱: مراحل مختلف ریزازدیادی استقرار ریزنمونه ، پراوری و ریشه زایی و سپس سازگاری در گلخانه پسته UCB1

روش‌ها و ابزار تجزیه و تحلیل داده ها

بـرای اطمینـان از نرمـال بـودن داده هـا، تسـت نرمـال بـه روش کولموگـروف- اسـمیرنوف انجـام و سـپس بـا نـرم افـزار آمـاری SAS نسـخه ۹/۱ تجزیـه واریـاس گردیـد. ایـن آزمایـش بـه صـورت فاکتوریـل در قالـب طـرح کاملا تصـادفی بـا سـه تکـرار اجـرا و میانگیـن هـا نیـز بـر اسـاس آزمـون LSD در سـطح احتمـال ۵ درصـد بـا یکدیگـر مقایسـه گردیـد و رسـم منحـنی هـا بـا اسـتفاده از نـرم افـزار Excel انجـام شـد. تمـامی تحلیل‌هـای آمـاری بـا اسـتفاده از نرم‌افـزار آمـاری SPSS نسـخه ۲۴ صـورت پذیرفـت. داده‌هـای جمـع‌آوری شـده از هـر دو مرحلـه آزمایـش در قالـب طـرح کاملاً تصـادفی (Completely Randomized Design) بـا ۳ تکـرار مـورد تجزیـه و تحلیـل قـرار گرفتنـد. پـس از تأییـد نرمالیتـه داده‌هـا، بـرای مقایسـه میانگین‌هـا بیـن تیمارهـای مختلـف، از آزمـون تحلیـل واریانـس یک‌طرفـه (One-way ANOVA) اسـتفاده شـد. در مـواردی کـه تفـاوت معنـی‌داری مشـاهده گردیـد ($P < ۰.۰۵$)، مقایسـه میانگین‌هـای گـروهی بـا اسـتفاده از آزمـون مقایسـه چندگانـه LSD (Least Significant Difference) انجـام شـد تـا تفاوت‌هـای معنـی‌دار بیـن هـر جفـت از تیمارهـا مشـخص شـود. تمـامی تحلیل‌هـای آمـاری بـا اسـتفاده از نرم‌افـزار آمـاری SPSS نسـخه ۲۴ صـورت پذیرفـت. نتایـج حاصـل از ایـن پژوهـش در مـورد بهینه‌سـازی پروتکل‌هـای کشـت درون‌شیشـه‌ای پسـته در بخش‌هـای زیـر ارائـه شـده اسـت.

نتایج و بحث

در جدول(۱)، اثر سطوح مختلف هورمون بنزیل‌آدنین (BAP) شامل غلظت‌های ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ میلی‌گرم در لیتر، بر سه شاخص مهم شامل درصد باززایی شاخساره، تعداد برگ و طول شاخساره بررسی شده است. نتایج حاصل از آزمون تحلیل واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) نشان داد که تفاوت بین سطوح مختلف BAP از نظر درصد باززایی شاخساره و طول شاخساره معنادار بوده است ($P < 0.05$) ، در حالی که در تعداد برگ تفاوت معناداری مشاهده نشد ($P = 0.978$) .

بیش ترین درصد باززایی مربوط به سطح ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر (با میانگین ۷۹,۵۰٪ ± ۰,۵۰) و بیش ترین طول شاخساره مربوط به سطح ۲ میلی‌گرم در لیتر (با میانگین ۰,۵۴ سانتی‌متر ± ۰,۰۳) بوده است.

جدول ۱: میانگین ± انحراف معیار درصد باززایی شاخساره، تعداد برگ و طول شاخساره تحت تأثیر سطوح مختلف هورمون BAP

سطح (Treat-ment)	درصد باززایی شاخساره	تعداد برگ	طول شاخساره (cm)
	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار	میانگین ± انحراف معیار
۰/۵۰	۰/۰۰ ± ۰/۰۰	۱/۵۳ ± ۳/٦۷	۰/۰۰ ± ۰/۰۰
۱/۰۰	۰/۵۰ ± ٦۹/۵۰	٤/۰۰ ± ۱/۰۰	۰/۰۳ ± ۲/۲۲
۱/۵	۰/۵۰ ± ۷۹/۵۰	٤/۰۰ ± ۱/۰۰	۰/۰٤ ± ۲/۳٤
۲/۰۰	۰/۵۰ ± ٤۹/۵۰	٤/۰۰ ± ۱/۰۰	۰/۰۳ ± ۲/۵٤
کل (Total)	۳۱/۹۸ ± ٤۹/٦۳	۳/۹۲ ± ۱/۰۰	۰/۲ ± ۲/۲۸
P value	.۰۰۰	.۹۷۸	.۰۰۰

*One way ANOVA

نتایج مقایسه چندگانه LSD :

جهت بررسی دقیق تفاوت میانگین‌ها بین سطوح مختلف هورمون BAP، از آزمون مقایسه چندگانه LSD (Least Significant Difference) استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده برای هر متغیر وابسته در جدول ۲ و هم چنین به صورت بصری در نمودارهای (۴)،(۵) و(۶) به شرح زیر است:

- **درصد باززایی شاخساره:** بین تمامی سطوح مختلف غلظت BAP (۰,۵، ۱,۰، ۱,۵ و ۲,۰ میلی‌گرم در لیتر)، تفاوت معناداری از نظر درصد باززایی شاخساره مشاهده شد .($P < ۰.۰۰۱$) به‌ویژه، تیمار ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر، بالاترین درصد باززایی را در مقایسه با سایر تیمارها نشان داد. این موضوع نشان‌دهنده‌ی حساسیت بالای باززایی شاخساره به غلظت‌های مختلف BAP و اهمیت انتخاب غلظت بهینه برای حصول حداکثر باززایی است.

- **تعداد برگ:** بین تیمارهای مختلف از نظر تعداد برگ، هیچ تفاوت معناداری مشاهده نشد .(به‌عبارتی، اگرچه میانگین تعداد برگ کمی بین سطوح مختلف BAP متغیر بود، این اختلاف از لحاظ آماری معنادار نبوده و نشان می‌دهد که BAP در غلظت‌های بررسی شده، تأثیر قابل‌توجهی بر تعداد برگ‌های تولیدی نداشته است.

- **طـــول شاخســـاره:** در خصـوص طـول شاخسـاره، تفـاوت بیـن اغلـب تیمارهـا معنـادار بـود ($P < ۰.۰۵$). بیشـترین طـول شاخسـاره مربـوط بـه غلظـت ۲,۰ میلی‌گـرم در لیتـر BAP بـود کـه تفـاوت معنـاداری بـا سـطوح پایین‌تـر داشـت. بنابرایـن، افزایـش غلظـت BAP تـا حـدودی موجـب افزایـش طـول شاخسـاره می‌شـود، امـا لازم بـه بررسـی بیشـتر در مطالعـات آینـده اسـت تـا غلظـت بهینـه بـرای هـر دو شـاخص (درصـد باززایـی و طـول) مشـخص شـود.

جدول ۲: نتایج مقایسه چندگانه میانگین درصد باززایی شاخساره، تعداد برگ و طول شاخساره بین سطوح مختلف غلظت هورمون BAP با استفاده از آزمون LSD

متغیر وابسته	(I) غلظت	(J) غلظت	اختلاف میانگین (I-J)	سطح معناداری (.Sig)	نتیجه
درصد باززایی شاخساره	۰/۵	۱	-۶۹/۵۰*	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۰/۵	۱/۵	-۷۹/۵۰*	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۰/۵	۲	-۴۹/۵۰*	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۱	۱/۵	-۱۰/۰۰*	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۱	۲	-۲۰/۰۰*	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۱/۵	۲	۳۰/۰۰*	۰/۰۰۰۰	معنادار
تعداد برگ	۰/۵	۱	-۰/۳۳۳	۰/۷۳۳	غیر معنادار
	۰/۵	۱/۵	-۰/۳۳۳	۰/۷۳۳	غیر معنادار
	۰/۵	۲	-۰/۳۳۳	۰/۷۳۳	غیر معنادار
	۱	۱/۵	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	غیر معنادار
	۱	۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	غیر معنادار
	۱/۵	۲	۰/۰۰۰	۱/۰۰۰	غیر معنادار
طول شاخساره (cm)	۰/۵	۱	-۰/۳۳۳ *	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۰/۵	۱/۵	-۰/۳۴۰ *	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۰/۵	۲	-۰/۵۳۷ *	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۱	۱/۵	-۰/۱۱۷ *	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۱	۲	-۰/۳۱۳ *	۰/۰۰۰۰	معنادار
	۱/۵	۲	-۰/۱۹۳ *	۰/۰۰۰۰	معنادار

باززایی شاخساره

بـا افزایـش غلظـت BAP از ۰/۵ میـلی گـرم بـه ۱/۵ لیتـر، درصـد بـاززایی افزایـش معـنی داری پیـدا کـرد، بـه طـوری کـه بیـش تریـن بـاززایی و تعـداد بـرگ در تیمـار BAP ۱/۵ mg/l مشـاهده گردیـد. (نمـودار ۱). سـایتوکینین هـا بـه تنهـایی در محیـط کشـت، تشـکیل شـاخه را در بسـیاری از گیاهـان القـا می کنـد (Rout et al., 2006).

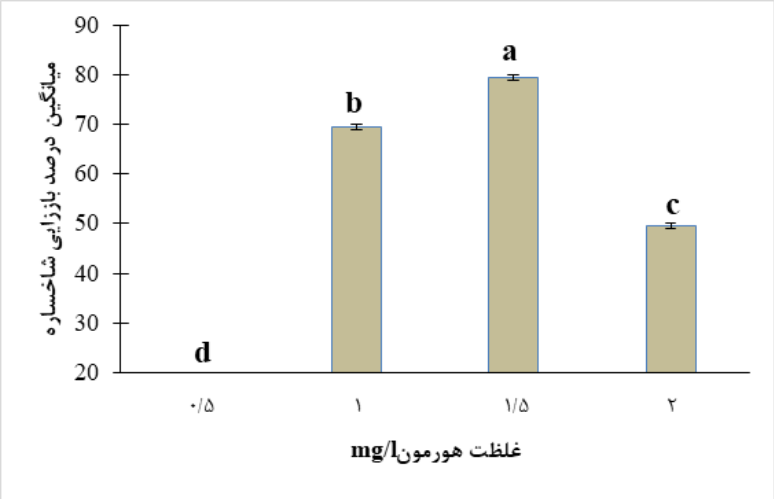
گونـه هـای پسـته مقـاوم بـه رشـد هسـتند و موفقیـت ریزازدیـادی کـمی در شـرایط درون شیشـه ای دارنـد شـرایط نشـت مـواد فنـلی موجـود در سـاختار آن هـا بـه درون مـاده مغـذی باعـث تیـره شـدن محیـط کشـت و پیچیـده شـدن بـاززایی شـاخه هـا می شـود .اسـتفاده از نهـال هـای جـوان یکسـاله یـا درختـان جـوان دو تـا سـه سـاله در بـاغ منجـر بـه موفقیـت بـالی اسـتقار می گـردد و درصـد بـالیی از ریزنمونـه ای جوانـه در محیـط کشـت سـبز می شـوند. کاربـرد گلوکونـات کلسـیم و گلوتامیـن در محیـط کشـت پـراوری بـه طـور موثـری میـزان رشـد شاخسـاره و سـوختگی انتهـایی را کاهـش داد.

بیش ترین درصد باززایی مربوط به هورمون بنزیل امینو پورین در سطح ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر بود که در ازمایشی مشابه محققین دیگر نشان دادند که این هورمون در سطح یک میلی گرم در لیتر به همراه نفتاین استیک اسید بیشترین باززایی را در پسته نشان داده است (Nadalizadeh et al., 2023). در این ازمایش نیز در تمام تیمارهای هورمونی از هورمون نفتاین استیک اسید به مقدار ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر به همراه بنزیل آمینو پورین استفاده شد.با فزایش غلظت هورمون بیشتر از ۱/۵ میلی گرم در لیتر درصد باززایی کاهش یافت که موافق نتایج ازمایشات قبلی بوده است Ekinci .(et al., 2023)

در آزمایشی دیگر بیان شد که BAP نسبت به Kin در باززایی شاخه مؤثرتر است که همسو با نتایج آزمایش این پژوهش است (Vishwakarma et al., 2013).

اثر تحریک کنندگی BAP در ساقه زایی در چندین گونه گیاهی دارویی و آروماتیک گزارش شده است.

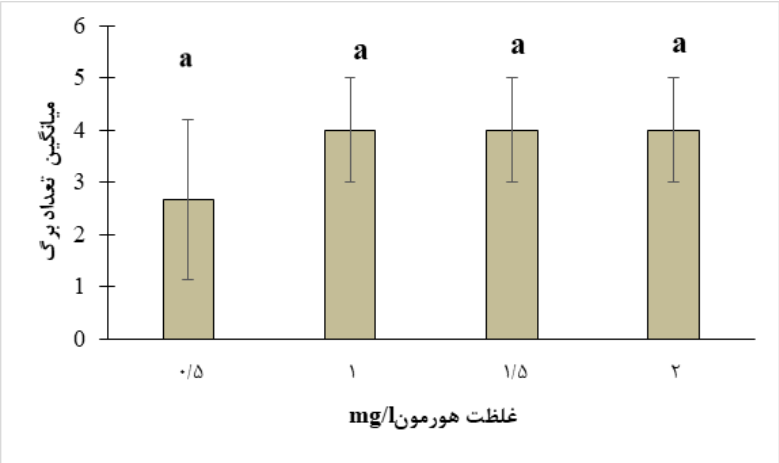
بیش ترین طول گیاهچه در تیمارهای ۱و ۱/۵ میلی گرم در لیترBAP به دست آمد. ریشه زایی در تمام گیاهچه های حاصل، پس از واکشت دوم با درصدهای مشابه صورت پذیرفت. تنها در غلظت ۰/۵میلی گرم در لیتر BAP ، تعداد ریشه های تولیدشده بیش تر از سایر تیمارها بوده است.



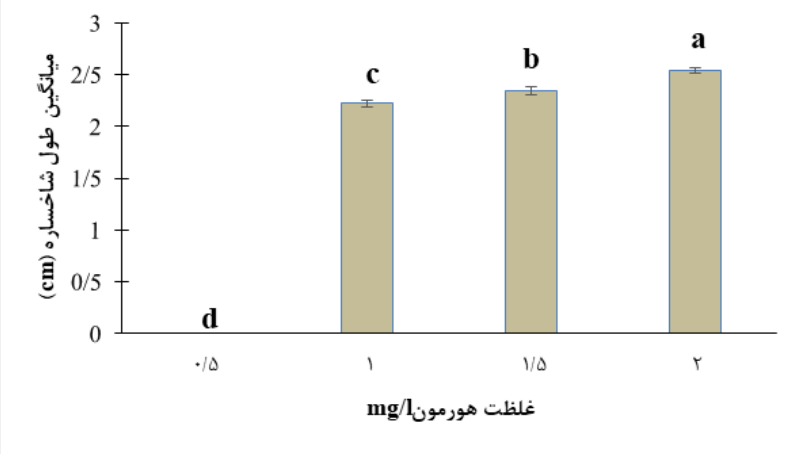
نمودار۱: میانگین درصد باززایی شاخساره

یافته ها نشان می دهد رابطه ی نزدیکی بین طول شاخساره و شمار برگ و گره وجود دارد. بیش ترین طول و تعداد برگ در تیمار ۲ میلی گرم در لیترBAP مشاهده شده است (نمودار۲ و۳) .

در این سه نمودار، میانگین و انحراف معیار متغیرهای مختلف (درصد باززایی شاخساره، تعداد برگ و طول شاخساره) در تیمارهای مختلف غلظت BAP (۰,۵، ۱,۰، ۱,۵ و ۲,۰ میلی‌گرم در لیتر)، نمایش داده شده‌اند. حروف انگلیسی بالای هر ستون نمایانگر نتایج آزمون مقایسه میانگین‌ها (LSD) هستند؛ تیمارهایی که حروف متفاوت دارند، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نشان می‌دهند (سطح معنی‌داری ۰,۰۵).



نمودار۲: میانگین تعداد برگ و تیمار تنظیم کننده رشد گیاهی



نمودار۳: میانگین طول شاخساره و تیمار تنظیمکننده رشد گیاهی

ریشه زایی

به منظور ریشه دهی شاخه های جدید رشد کرده در محیط پراوری ، شاخه های بلند قبل از چوبی شدن جدا شدند و کالوس ان ها حذف گردید و در محیط یک دوم MS حاوی هورمون دو میلی گرم در لیتر از اسید ایندول بوتیریک قرار داده شدند و بعد از ۲۰ روز ریشه های ستاره ای ۷۵ درصد مشاهده گردید و مشابه نتایج ازمایش دیگر می باشد (Benmahioul ۲۰۱۷,)

نتیجه گیری

ریزازدیـادی درون شیشـه ای یـک روش مؤثـر بـرای ازدیـاد سـریع گونـه هاسـت کـه باعـث تولیـد نتاجـی بـا یکنواختـی بـالا مـی شـود. بنابرایـن ایجـاد تکنیـک هـای کـشتی کارآمـد و منطقـی و فرمولـه کـردن ترکیـب محیط کشـت مناسـب برای انـدام خـاص بعنـوان یـک شـرط لازم بـرای ازدیـاد درون شیشـه ای گیـاه مـی باشـد. ژنوتیـپ هـای مختلـف بـا داشـتن سـطوح مختلـف هورمـون هـای داخلـی اکسـین و سـیتوکینین پاسـخ هـای مختلفـی نسـبت به شـرایط محیط کشـت نشـان می دهنـد.

بـه عبـارت دیگـر ریزازدیـادی یـک روش تولیـد گیاهـان در مقیـاس وسیـع اسـت کـه از کشـت بافـت گیـاهی اسـتفاده می‌کنـد. در ایـن روش، از جوانـه هـای انتهـایی و جانـبی پسـته بـه عنـوان مـواد اولیـه اسـتفاده شـد و ایـن بخش‌هـا در محیط‌هـای کشـت اسـتریل و حـاوی هورمـون بنزیـل امینـو پوریـن و نفتالیـن اسـتیک اسی تکثیـر شـدند.

تکثیـر پایـه هـای رویـشی درختـان میـوه یـکی از مهـم تریـن کاربردهای کشـت بافت محسـوب می‌شـود و ایـن صنعـت در طی سـالیان اخیـر در حـال گسـترش بـوده اسـت. بـا توجـه بـه گرایـش زیـاد بـاغ داران و بهـره اقتصـادی مناسـب پایـه پسـته UCB1، انجـام تحقیـقی که پروتـکل ریزازدیـادی ایـن گیـاه در شـرایط درون شیشـه ای را مشـخص نمایـد ضـروری بـه نظـر می رسـید. بـر ایـن اسـاس آزمایـشی جهـت بـررسی فراینـد ریزازدیـادی پسـته UCB1بـا اسـتفاده محـرک هـای رشـد انجـام شـد.

بیـش تریـن میـزان رشـد و میـزان بـاززایی شاخسـاره در محیـط کشـت حـاوی ۱/۵ میکروگـرم در لیتـر BAP مشـاهده گردیـد. گیاهچـه هـا در همـان محیـط کشـت پـس واکشـت دوم ریشـه زایی گردیـد و بـا صـد در صـد زنـده مـانی در پیـت مـاس و پرلیـت سـازگار شـدند.

ضمـن آنکـه شیشـه ای شـدن یـا ویتریفیکاسـیون یـکی از مسـائل معمـول در ریزازدیـادی درون شیشـه ای مـی باشـد. گیاهچـه هـای دارای ایـن عارضـه، ظاهـری آبکـی و شـفاف داشـته و اغلـب بـا سـاقه و بـرگ بـاد کرده مشـاهده می شـوند. برگ‌هـا فاقـد بافـت پارانـشیم نردبـانی مطلـوب بـوده ولـی در عـوض دارای مزوفیلـی بـا فضـای بیـن سـلولی بـزرگ مـی باشـند. بـرگ هـا دارای تعـداد روزنـه کمتری بوده و معمـولاً کوتیکـول آن خیلـی نـازک می باشـد بعلاوه بسـیاری از روزنه هـا ممکـن اسـت کارآیـی خـود را نیـز از دسـت داده باشـند. گـزارش های متعـددی وجود دارند کـه نـشان دهنـده ی تاثیر غلظـت هـای بـالای بنزیـل آدنیـن در ظهـور شیـشه ای شـدن اسـت. از طـرف دیگـر غلظـت بالاتـر اگار و کنترل دمـای اتاق رشـد بیـن ۲۲ تـا ۲۷ درجـه شیشـه ای شـدن را بـه طـور قابـل ملاحظـه ای کاهـش داد.

منابع

1. Ak, B.E. and Korkmaz, S. 2019. The usage and importance of dwarf rootstocks in modern fruit growing. Proceedings Book of 1st International Gobeklitepe Agriculture Congress, (ISBN 978-975-7113-71-3), p. 671-676.
2. Aghasi Kermani, S., HokmaBAPdi, H. and GhanBAPri Jahromi, M. 2017. The evaluation of the effect of Multiwall Carbon Nano Tube (MWCNT) on in vitro proliferation and shoot tip necrosis of pistachio rootstock UCB-1 (*P. integerrima*× *P. atlantica*). Journal of Nuts, 8(1): 49-59.
3. Benmahioul, B. 2017. Factors affecting in vitro micropropagation of Pistachio (Pistacia vera L.). Agriculture and Forestry Journal, 1(1), 56-61.
4. Beede, R.H. 2017. Pistachio canopy management and its effect on yield components. 8 th Advanced in Pistachio Production, University of California, Davis.
5. Benmahioul, B. 2017. Factors Affecting in vitro Micropropagation of Pistachio (*Pistacia vera* L.), Agriculture and Forestry Journal, 1(1): 56-61.
6. Benmahioul, B., Dorion, N., Kaid-Harche, M. and Daguin, F. 2012. Micropropagation and ex vitro Rooting of Pistachio (*Pistacia vera* L.), Plant Cell Tissue Organ Culture, 108: 353–358
7. Ekinci, H., Bekir Erol, A.K. and Saskin, N. 2023. Screening of some chemical disinfectants for explant sterilization during in vitro micropropagation of UCB-1 (*P. atlantica* x *P. integerrima*). In Baplkan Agricultural Congress. p. 159.
8. Iliev, I., Gajdošová, A., Libiaková, G. and Jain, S.M. 2010. Plant micropropagation. Plant cell culture: essential methods, 1:1-23.
9. Jacygrad, E., Preece, J.E., Palmer, W.J., Michelmore, R. and Golino, D. 2020. Phenotypic segregation of seedling UCB-1 hybrid pistachio rootstock. Trees, 34: 531-541.
10. Lewis, F. 2021. Comparing the effects of cytokinin source and concentration on shoot growth in a micropropagation system of UCB-1 interspecific Pistacia rootstock. University of California, Davis.
11. Nadalizadeh Ghannad, A., Marashi, H., Seifi, A. and Moshiri, F. 2023. Optimization of callus induction and shoot regeneration in leaf and stem of Pistacia vera L. and UCB-1 (*P. atlantica*× P. integerrima). Plant Biotechnology Reports, 17(5): 605-613.
12. Rout, G.R., Mohapatra, A. and Mohan Jain, S. 2006. Tissue culture of ornamental pot plant: A critical review on present scenario and future prospects. Biotechnology Advances, 24: 531-560.
13. Vishwakarma, U.R., Gurav, A.M. and Sharma, P.Ch. 2013. Regeneration of multiple shoots from petiole callus of Viola serpens Wall. Pharmacognosy Research, 5: 86-92.
14. Tilkat, E., Onay, A. and Ozden Tokatli, Y. 2009. In Vitro Rooting Improvement of Adult Pistachio, *Pistacia vera* L. 'ATLI'. Acta Horticure. 839: 215-221.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

Identification of Native *Trichoderma* Species with High Abundance in the Rhizosphere of Pistachio Trees

Mohammad Moradi Ghahderijani [1], Fatemeh Hassanzadeh Davarani [2*]

1. Pistachio Research Center, Horticultural Sciences Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rafsanjan, Iran

2. * Department of Plant Pathology, Raf.C., Islamic Azad University, Rafsanjan, Iran.

*Corresponding author: Fatemeh Hassanzadeh Davarani, E-mail address: fa.hassanzadeh3535@iau.ac.ir

Recieved:2025/9/5 Accepted:2025/9/17

Abstract

Trichoderma fungi are among the most active microorganisms in the rhizosphere of plants, playing a crucial role in the biological control of plant pathogens. In this study, native *Trichoderma* species were isolated, purified, and identified from soil and rhizosphere samples collected from 50 pistachio orchards across various regions. Initial isolation was performed using selective media (ELAD and SPDA) and serial dilution techniques, followed by single-spore purification on PDA and WA media. Morphological identification of isolates was based on vegetative reproductive structures, including colony shape and growth, pigmentation, sporulation, conidiophore architecture, phialide and conidium morphology, chlamydospore formation, and growth rate at different temperatures, using validated taxonomic keys. The results revealed that *Trichoderma harzianum* was the most frequently isolated species, likely due to its high ecological and biological adaptability to pistachio orchard soils. Other species such as *T. virens*, *T. brevicompactum*, and *T. longibrachiatum* were identified with lower frequencies. Comparative analysis of soil, rhizosphere, and fertilizer pit samples showed significantly higher *Trichoderma* abundance in the rhizosphere. Native isolates were screened through antifungal assays based on their antagonistic properties, and the most effective strains with high biocontrol potential were selected for the development of biological products against pistachio pathogens.

Keywords: Antagonistic assay, Biodiversity, Rhizosphere, Adaptability, Adaptability

Published by Islamic Azad University, Rafsanjan .This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License
/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

Extended Abstract

Introduction

Trichoderma species are among the most active and ecologically significant fungi in the rhizosphere of plants. Their ability to suppress a wide range of soil-borne pathogens and promote plant growth has made them valuable agents in biological control strategies. These fungi exert their biocontrol effects through multiple mechanisms, including rapid root colonization, mycoparasitism, production of hydrolytic enzymes, secretion of antifungal metabolites, and induction of systemic resistance in host plants. In pistachio orchards, where soil-borne diseases pose a major threat to productivity, the identification and utilization of native Trichoderma strains adapted to local soil conditions can offer sustainable solutions. This study aimed to isolate, purify, and identify native *Trichoderma* species from the rhizosphere of pistachio trees in various regions of Iran, and to evaluate their potential for biological control.

Materials and Methods

Soil samples were collected from the rhizosphere of pistachio trees across more than 50 orchards located in Rafsanjan, Nough, Dehferaj Razavi, Sirjan, Zarand, Koshkuiyeh, and Chatrood during spring and summer seasons. Each orchard was divided into five zones (north, south, east, west, and center), and ten subsamples were randomly collected from the shaded area between tree rows at a depth of 5–30 cm. The subsamples were mixed to form a composite sample for each zone. Soil samples were sieved (2–5 mm), and 10 g of sieved soil was suspended in 100 ml of sterile distilled water containing tween 20 (1:1000). The suspension was shaken for 30 minutes at 100–200 rpm, and serial dilutions (10^{-1} to $^{2-}$۱۰) were prepared. Aliquots (۲۵۰ µl) of each dilution were plated on selective media (SPDA and ELAD) in four replicates and incubated at 25°C in darkness for one week. Colonies resembling Trichoderma were counted daily. Purification was performed using single-spore isolation on PDA and WA media. Morphological identification was based on colony characteristics, pigmentation, sporulation, conidiophore structure, phialide and conidium morphology, chlamydospore formation, and growth rate at different temperatures, using validated taxonomic keys and online databases.

Results and Discussion

Microscopic and morphological analysis revealed the presence of several *Trichoderma* species. Among the isolates, *T. harzianum* was the most abundant, consistent with previous studies. This species exhibited rapid colony growth and dense sporulation, covering the entire Petri dish surface. Colonies initially appeared yellowish-green and gradually turned dark green, with reverse coloration ranging from colorless to dark yellow. Phialides were ampulliform or lageniform, typically arranged in whorls of 3–4. Other identified species included *T. longibrachiatum*, *T. virens*, and *T. brevicompactum*, each with distinct morphological traits and lower frequencies. *T. longibrachiatum* showed jade-green conidia and solitary cylindrical phialides. *T. virens* displayed turf-like sporulation and bluish-green colony coloration, with abundant chlamydospore production. *T. brevicompactum* formed olive-green to bluish-green colonies with pyramidal conidiophores and ampulliform phialides. Quantitative analysis indicated that *Trichoderma isolates* were significantly more abundant in the rhizosphere compared to other soil zones, suggesting strong ecological adaptation and symbiotic interactions with pistachio roots. The rhizosphere, enriched by root exudates, provides a favorable microenvironment for microbial colonization and activity. The dominance of *T. harzianum* highlights its potential as a biocontrol agent in pistachio orchards.

Antifungal screening assays demonstrated that several native isolates exhibited strong antagonistic activity against key pistachio pathogens such as *Fusarium* spp., *Phytophthora capsici*, and *Rhizoctonia solani*. These findings align with global research on the biocontrol efficacy of *Trichoderma* species and underscore the importance of selecting region-specific strains for field application.

Conclusion

This study successfully identified native *Trichoderma* species from pistachio rhizosphere soils, with *T. harzianum* being the most prevalent. The high abundance and antagonistic potential of these isolates suggest their suitability for developing biological products aimed at managing soil-borne diseases in pistachio orchards. Future research should focus on greenhouse and field trials to evaluate the performance of selected strains under natural conditions. Additionally, exploring their effects on pistachio seedling growth, stress tolerance, and long-term soil health will contribute to sustainable horticultural practices and the development of eco-friendly biocontrol strategies.

پژوهش های کاربردی در خشک میوه ها
Journal Of Applied Researches In NUTS

شناسایی گونه‌های بومی*Trichoderma* با فراوانی بالا در ناحیه فرا ریشه درختان پسته

محمد مرادی قهدریجانی،[1] فاطمه حسن زاده داورانی[2*]

۱. پژوهشکده پسته، موسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رفسنجان، ایران.

۲.*گروه بیماری شناسی گیاهی، واحد رفسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، رفسنجان، ایران

*نویسنده مسئول: فاطمه حسن زاده داورانی.

ایمیل: fa.hassanzadeh3535@iau.ac.ir

دریافت : ۱۴۰۴/۶/۱۴ پذیرش : ۱۴۰۴/۶/۲۶

چکیده

قارچ‌های*Trichoderma* از جمله میکروارگانیسم‌های فعال در ناحیه فرایشه گیاهان محسوب می‌شوند که نقش مهمی در کنترل زیستی عوامل بیماری‌زای گیاهی دارند. در این پژوهش، به‌منظور جداسازی، خالص‌سازی و شناسایی گونه‌های بومی *Trichoderma*، نمونه‌برداری از خاک و ناحیه فرایشه ۵۰ باغ پسته در مناطق مختلف انجام شد. جداسازی اولیه با استفاده از محیط‌های کشت انتخابی ELAD و SPDA و روش سری‌های رقت صورت گرفت؛ سپس خالص‌سازی و کشت تک‌اسپور روی محیط‌های PDA و WA انجام شد. شناسایی مورفولوژیکی جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های اندام‌های تولید مثل رویشی، شامل شکل و رشد پرگنه، رنگدانه، اسپورزایی، ساختار کنیدیوفور، فیالید، کنیدیوم و کلامیدوسپور، همچنین دما و سرعت رشد در محیط‌های مختلف، با استفاده از کلیدهای معتبر صورت گرفت. نتایج نشان داد که گونه *Trich-oderma harzianum* بیشترین فراوانی را دارد که احتمالاً بیانگر سازگاری بالای آن با شرایط اکولوژیکی و بیولوژیکی خاک‌های پسته است. گونه‌های *T. virens*، *T. brevicompactum* و *T. longibrachiatum* نیز با فراوانی کمتر شناسایی شدند. مقایسه نمونه‌های خاک، فرایشه و چاله کود نشان داد که فراوانی جدایه‌های *Trichoderma* در ناحیه فرایشه به‌طور قابل‌توجهی بیشتر از سایر بخش‌هاست. غربال‌گری جدایه‌های بومی در آزمون‌های ضدقارچی بر اساس ویژگی‌های آنتاگونیستی انجام شد و جدایه‌های مؤثرتر با قابلیت بالای کنترل زیستی برای تولید فرآورده‌های بیولوژیکی علیه عوامل بیماری‌زای گیاهی پسته انتخاب گردیدند.

کلمات کلیدی: آزمون آنتاگونیستی، تنوع زیستی، ریزوسفر، ،سازگار،غربال گری

انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد با گواهی CC BY-NC ۴.۰ صورت گرفته است.

/http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

مقدمه

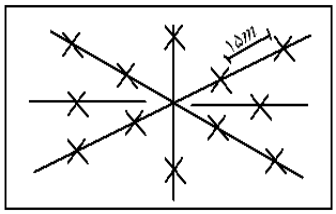
درخت پسته (*Pistacia vera*) یکی از مهم‌ترین محصولات باغی ایران به‌شمار می‌رود که نقش اقتصادی، صادراتی و اشتغال‌زایی قابل‌توجهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور دارد. استان‌هایی مانند کرمان، یزد، خراسان و سمنان از قطب‌های اصلی تولید پسته هستند که سالانه سهم قابل‌توجهی از تولید جهانی را به خود اختصاص می‌دهند. با این حال، تولید پایدار پسته با چالش‌های متعددی از جمله بیماری‌های خاک‌زاد مواجه است که موجب کاهش رشد نهال‌ها، ضعف در استقرار ریشه، افت عملکرد و خسارت‌های اقتصادی می‌شود. از جمله این بیماری‌ها می‌توان به پوسیدگی ریشه، پژمردگی فوزاریومی، و بیماری‌های ناشی از قارچ‌های *Phytophthora*, *Rhizoctonia* و *Verticillium* اشاره کرد. در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های مبارزه بیولوژیک به‌عنوان جایگزینی پایدار و ایمن برای سموم شیمیایی مورد توجه قرار گرفته است. در این میان، قارچ‌های جنس *Trich-oderma* به دلیل توانایی بالا در کنترل زیستی عوامل بیماری‌زا، تحریک رشد گیاه، و سازگاری با شرایط محیطی، به‌عنوان یکی از مؤثرترین عوامل بیوکنترلی شناخته شده‌اند (Harman et al., 2021). این قارچ‌ها با کلنیزاسیون سریع ناحیه فریشه، ترشح آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی پاتوژن‌ها، تولید متابولیت‌های ضدقارچی، و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان، نقش مهمی در سلامت خاک و گیاه ایفا می‌کنند (Howell, 2003; Vinale et al., 2008). با توجه به تنوع اقلیمی و خاکی باغ‌های پسته در ایران، شناسایی و معرفی گونه‌های بومی *Trich-oderma* که با شرایط اکولوژیکی این مناطق سازگار باشند، می‌تواند گامی مؤثر در توسعه راهکارهای زیستی و پایدار برای مدیریت بیماری‌های خاک‌زاد در این محصول استراتژیک باشد (Mukherjee et al., 2023; Vinale et al., 2024). قارچ‌های جنس *Trichoderma* از جمله میکروارگانیسم‌های کلیدی در اکوسیستم‌های خاکی محسوب می‌شوند که به‌واسطه نقش‌های چندگانه خود در سلامت گیاهان، به‌ویژه در ناحیه فریشه، مورد توجه گسترده قرار گرفته‌اند (Meincke et al., 2010) . این قارچ‌ها به‌طور طبیعی در خاک، چوب‌های در حال تجزیه، کمپوست و سایر مواد آلی یافت می‌شوند و به‌دلیل توانایی در سرکوب طیف وسیعی از عوامل بیماری‌زای گیاهی مانند *Botrytis cinerea*, *Fusarium spp.*, *Phytophthora cactorum*, *Verticillium dahliae*, *Rhi-zoctonia solani* و *Pythium spp*، جایگاه ویژه‌ای در مدیریت زیستی بیماری‌ها دارند (Samolski et al., 2009). مکانیسم‌های بیوکنترلی *Trichoderma* شامل کلنیزاسیون سریع ریشه، هیپوپارازیتیسم، ترشح آنزیم‌های تجزیه‌کننده دیواره سلولی پاتوژن‌ها، تولید متابولیت‌های ثانویه، تحریک رشد ریشه و القای مقاومت سیستمیک در گیاهان است (Howell, 2003). این قارچ‌ها با نفوذ به بافت‌های سطحی ریشه و تعامل با سلول‌های اپیدرمی، به‌عنوان همزیست‌های فرصت‌طلب و غیر بیماری‌زا عمل کرده و موجب تغییرات متابولیکی در گیاه می‌شوند که منجر به افزایش توسعه ریشه، بهبود جذب عناصر غذایی، افزایش باروری و مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی می‌گردد (Vinale et al., 2008). افزودن *Trichoderma* به خاک به‌منظور افزایش جمعیت آن، یکی از روش‌های رایج در مبارزه بیولوژیکی با بیماری‌های خاک‌زاد است. با این حال، موفقیت این روش به توانایی قارچ در بقا و استقرار در شرایط متغیر خاک بستگی دارد (Harman et al., 2021). از این‌رو، شناسایی گونه‌های بومی *Trichoderma* که با شرایط اکولوژیکی خاص مناطق کشت پسته سازگار باشند، اهمیت ویژه‌ای دارد. درختان پسته (*Pistacia vera*) به‌عنوان یکی از محصولات باغی مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، به‌طور مداوم در معرض تهدید بیماری‌های خاک‌زاد قرار دارند. مطالعه میکروبیوم فریشه این درختان، به‌ویژه شناسایی و معرفی گونه‌های بومی *Trichoderma* با پتانسیل بیوکنترلی، می‌تواند گامی مؤثر در توسعه راهکارهای زیستی و پایدار برای مدیریت بیماری‌ها در باغ‌های پسته باشد (Mukherjee et al., 2023; Vinale et al., 2024)

مواد و روش ها

نمونه‌برداری از خاک فریشه

در این پژوهش، نمونه‌برداری از بیش از ۵۰ منطقه پسته‌کاری شامل رفسنجان، نوق، ده‌فرج رضوی، سیرجان، زرند، کشکوئیه و چترود طی فصول بهار و تابستان انجام شد. نمونه‌ها به‌صورت مجزا از ناحیه فریشه و نهال‌های پسته جمع‌آوری گردیدند. برای هر باغ، ابتدا تقسیم‌بندی به پنج ناحیه جغرافیایی (شمالی، جنوبی، شرقی،

غـربی و مرکـزی) انجـام شـد. از هـر ناحیـه، ۱۰ زیرنمونـه خـاک از محـل سـایه‌انداز در بیـن ردیف‌هـا و از عمـق ۵ تـا ۳۰ سـانتی‌متری به‌صـورت تصـادفی برداشـت شـد. زیرنمونه‌هـا پـس از اخـتلاط کامـل به‌عنـوان یـک نمونـه مرکـب بـه آزمایشـگاه منتقـل شدند(شـکل ۱).



شکل ۱. نحوه نمونه برداری در باغ

جداسازی قارچ *Trichoderma*

نمونه‌هـای خـاک مرکـب ابتـدا بـا اسـتفاده از الک‌هـایی بـا قطـر منافـذ ۲ تـا ۵ میلی‌متـر غربـال شـدند. سـپس ۱۰ گـرم از خـاک الک‌شـده بـه فلاسـک‌های ۲۵۰ میلی‌لیتـری حـاوی ۱۰۰ میلی‌لیتـر آب مقطـر اسـتریل و توئیـن ۲۰ (بـا غلظـت ۱:۱۰۰۰) اضافـه گردیـد. فلاسـک‌ها به‌مـدت ۳۰ دقیقـه بـا سـرعت ۱۰۰ تـا ۲۰۰ دور در دقیقـه روی شیکـر قـرار گرفتنـد. پـس از آماده‌سـازی، رقت‌هـای سـریالی از 10^{-1} تـا 10^{-2} تهیـه و هـر رقـت در چهـار تکـرار، هرکـدام حـاوی ۲۵۰ میکرولیتـر، روی محیط‌هـای کشـت SPDA و ELAD پخـش شـد. پتری‌دیش‌هـا در دمـای ۲۵ درجـه سـانتی‌گراد و در تاریـکی به‌مـدت یـک هفتـه انکوبـه شـدند. کلنی‌هـای *Trichoderma* بـه صـورت روزانـه بـررسی و شـمارش شـدند (Davet, 1979) .

طرز تهیه محیط کشت های انتخابی

بـرای جداسـازی اولیـه قارچ‌هـای *Trichoderma*، از محیـط کشـت SPDA (Sabouraud Potato Dextrose Agar) اسـتفاده شـد. ایـن محیـط از عصـاره سیب‌زمیـنی (۲۰۰ گـرم سیب‌زمیـنی جوشـانده و صاف‌شـده)، دکسـتروز (۲۰ گـرم)، و آگار (۱۵–۲۰ گـرم) در یـک لیتـر آب مقطـر تهیـه گردیـد. پـس از تنظیـم pH در محـدوده ۵٫۶ تـا ۵٫۸، محیـط در دمـای ۱۲۱ درجـه سـانتی‌گراد بـه مـدت ۱۵ دقیقـه اتـوکلاو شـد. محیـط آماده‌شـده پـس از خنـک شـدن در پتری‌دیش‌هـا ریختـه شـد و بـرای کشـت نمونه‌هـای خـاک مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. ایـن محیـط به‌دلیـل دارا بـودن ترکیبـات مغـذی و pH نسـبتاً اسـیدی، شـرایط مناسـبی بـرای رشـد قارچ‌هـای رشـته‌ای فراهـم می‌کنـد (Siddiquee, 2017). جهـت افزایـش دقـت جداسـازی و انتخـاب اختصـاصی گونه‌هـای *Trichoderma*، از محیـط کشـت انتخـابی ELAD نیـز اسـتفاده شـد. ایـن محیط شـامل ترکیبـات معـدنی ماننـد $MgSO_4 \cdot 7H_2O$، KH_2PO_4، KCl، NH_4NO_3، دکسـتروز، Rose Bengal وآگار بـود. بـرای مهـار رشـد قارچ‌هـای رقیـب و باکتری‌هـا، آنتی‌بیوتیک‌هـایی نظیـر کلرامفنیـکل، کپتـان، کوینتـوزن (PCNB) و متالاکسیـل به‌صـورت جداگانـه پـس از اتـوکلاو بـه محیـط پایـه اضافـه شـدند. محیـط نهـایی پـس از جامـد شـدن در پتری‌دیش‌هـا ریختـه شـد و بـرای کشـت رقت‌هـای خـاک مـورد اسـتفاده قـرار گرفـت. ایـن محیـط به‌طـور خـاص بـرای جداسـازی *Trichoderma* از خـاک طـراحی شـده و در مطالعـات میکـروبی خـاک عملکـرد بـالایی دارد (Askew and Laing, 1993).

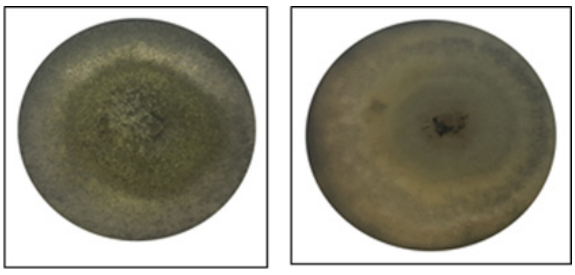
خالص‌سازی و شناسایی جدایه‌ها

برای خالص‌سازی جدایه‌های *Trichoderma*، از محیط کشت WA و روش کشت تک‌اسپور استفاده شد. شناسایی اولیه جدایه‌ها بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیکی شامل شکل و رنگ پرگنه، نوع کنیدیوفور، فیالید، کنیدیوم و کلامیدوسپور انجام گرفت. هم چنین ویژگی‌های رشد در دماهای مختلف و نحوه اسپورزایی بررسی شد. شناسایی نهایی با استفاده از کلیدهای معتبر تاکسونومیکی و منابع اینترنتی تخصصی صورت گرفت (Samuels et al., 2002; Jaklitsch, 2009).

نتایج و بحث

شناسایی گونه ها بر اساس شکل شناسی

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و ویژگی‌های مورفولوژیکی کلنی‌ها شامل رنگ، نوع رشد (خوابیده یا کرکی)، نحوه کنیدیوم‌زایی و رنگ سطح زیرین، چندین گونه از جنس *Trichoderma* شناسایی شدند. در میان جدایه‌های به‌دست‌آمده از مناطق مختلف پسته‌کاری، بیشترین فراوانی متعلق به گونه *T. harzianum* بود (شکل ۲)که با نتایج مطالعات پیشین نیز مطابقت دارد (Zafari et al., 2003; Zafari et al., 2013; Mehrabi-Koushki, 2008). این گونه دارای رشد سریع کلنی و اسپورزایی گسترده است که به‌سرعت تمام سطح پتری‌دیش را پوشش می‌دهد. رنگ کلنی ابتدا سبز مایل به زرد بوده و به‌تدریج به سبز تیره تغییر می‌کند؛ سطح زیرین کلنی از بیرنگ تا زرد تیره متغیر است. فیالیدها از پایه کنیدیوفور منشأ گرفته و به‌صورت آمپولی یا تنگی شکل، اغلب به‌صورت فراهم با ۳ تا ۴ شاخه مشاهده شدند. در گونه *T. longibrachiatum*، کنیدیوم‌زایی سریع و رنگ کنیدیوم‌ها سبز یشمی بود. فیالیدها عمدتاً منفرد و گاهی به‌صورت دسته‌های ۲ تا ۳ تایی پیرامونی دیده شدند. این فیالیدها استوانه‌ای شکل بوده و سطح زیرین کلنی بیرنگ بود. گونه *T. virens* دارای اسپورزایی پراکنده و چمنی در سطح محیط کشت بود. رنگ کلنی پس از اسپورزایی به سبز متمایل به آبی تغییر یافت و سطح زیرین کلنی بیرنگ یا زرد کم‌رنگ بود (شکل۲). ریسه‌های هوایی به‌صورت کرکی مشاهده شدند و تعداد زیادی کلامیدوسپور تولید گردید. انشعابات کنیدیوفورها به ۳ تا ۶ فیالید ختم شده و فیالیدها آمپولی تا تنگی شکل بودند. در گونه *T. brevicompactum*، رشد کلنی سریع و اسپورزایی فراوان بود. رنگ کلنی سبز زیتونی تا سبز مایل به آبی و کنیدیوفورها به‌صورت هرمی شکل بودند. فیالیدها عمدتاً آمپولی شکل بودند. ویژگی‌های مورفولوژیکی این گونه‌ها با گزارش‌های پیشین مطابقت داشت (Zafari et al., 2003; Zafari et al., 2013).



a b

شکل۲. a: نمای پرگنه جدایه *T. harzianum* b: *T. virens* روی محیط کشت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد

بررسی فراوانی جدایه‌ها نشان داد که ناحیه فریشه دارای بیش ترین تراکم *Trichoderma* نسبت به سایر بخش‌های خاک بود. این موضوع احتمالاً به دلیل سازگاری اکولوژیکی و تعاملات مثبت با سایر میکروارگانیسم‌های هم زیست در محیط باغ‌های پسته می‌باشد. شناسایی سویه‌های بومی *Trichoderma* در این مناطق می‌تواند گامی مؤثر در کنترل بیماری‌های خاک‌زاد و ارتقاء سلامت نهال‌های پسته باشد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که گونه *T. harzianum* بیش ترین فراوانی را در ناحیه فریشه درختان پسته دارد، که با مطالعات جهانی نیز هم‌راستا است. این گونه به‌عنوان یکی از پرکاربردترین عوامل بیوکنترلی در کشاورزی شناخته شده و توانایی بالایی در مقابله با پاتوژن‌های خاک‌زاد دارد (Chaverri et al., 2015; Jamali et al., 2016). ویژگی‌هایی مانند رشد سریع، اسپورزایی گسترده، و تولید متابولیت‌های ضدقارچی، آن را به گزینه‌ای مناسب برای استفاده در محصولات زیستی تبدیل کرده‌اند. حضور گونه‌هایی مانند *T. virens*, *T. brevicompactum* و *T. longibra-chiatum* نیز نشان‌دهنده تنوع زیستی قابل‌توجه در خاک‌های پسته‌کاری ایران است. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که این گونه‌ها نیز دارای فعالیت‌های آنتاگونیستی مؤثر علیه پاتوژن‌هایی مانند *Phytophthora cap-sici*, *Fusarium spp.* و *Rhizoctonia solani* هستند و می‌توانند در شرایط نیمه‌خشک عملکرد مناسبی داشته باشند. فراوانی بالای جدایه‌ها در ناحیه فریشه نسبت به سایر بخش‌های خاک، اهمیت این ناحیه را به‌عنوان زیستگاه فعال میکروبی نشان می‌دهد. ریزوسفر به‌عنوان منطقه‌ای غنی از ترشحات ریشه، شرایط مناسبی برای استقرار و فعالیت قارچ‌های هم زیست فراهم می‌کند (Vinale et al., 2008). این تعاملات می‌توانند منجر به تحریک رشد گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، و القای مقاومت سیستمیک شوند (Harman et al., 2021). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که در مراحل بعدی، آزمون‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای برای ارزیابی عملکرد بیوکنترلی سویه‌های بومی انجام گیرد. هم چنین بررسی اثر این سویه‌ها بر رشد نهال‌های پسته، مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و سازگاری با شرایط خاک‌های مختلف می‌تواند زمینه‌ساز توسعه محصولات زیستی بومی و پایدار باشد.

نتایج حاصل از بررسی‌های میکروسکوپی و ویژگی‌های مورفولوژیکی کلنی‌های قارچ‌های جنس *Trichoderma* نشان داد که تنوع قابل‌توجهی از گونه‌های این جنس در خاک‌های مناطق پسته‌کاری ایران وجود دارد. در میان گونه‌های شناسایی‌شده، *T. harzianum* با بیشترین فراوانی در ناحیه فریشه درختان پسته، به‌عنوان گونه غالب شناخته شد. این یافته با مطالعات پیشین هم‌راستا بوده و تأکیدی بر سازگاری بالای این گونه با شرایط اکولوژیکی باغ‌های پسته دارد. ویژگی‌هایی نظیر رشد سریع، اسپورزایی گسترده، و تولید متابولیت‌های ضدقارچی، *T. harzianum* را به یکی از مؤثرترین عوامل بیوکنترلی در مقابله با پاتوژن‌های خاک‌زاد تبدیل کرده است. حضور این گونه در ناحیه فریشه، که به‌عنوان زیستگاه فعال میکروبی شناخته می‌شود، نشان‌دهنده تعاملات مثبت آن با ریشه گیاه و سایر میکروارگانیسم‌های همزیست است. این تعاملات می‌توانند منجر به تحریک رشد گیاه، افزایش جذب عناصر غذایی، و القای مقاومت سیستمیک شوند. علاوه بر *T. harzianum*، گونه‌هایی نظیر *T. virens*, *T. brevicompactum* و *T. longibrachiatum* نیز شناسایی شدند که هر یک دارای ویژگی‌های مورفولوژیکی و زیستی خاصی هستند. این گونه‌ها با اسپورزایی پراکنده، رنگ‌های متفاوت کلنی، و ساختارهای فیالیدی متنوع، نشان‌دهنده تنوع زیستی بالای قارچ‌های *Trichoderma* در خاک‌های نیمه‌خشک ایران هستند. مطالعات اخیر نیز فعالیت‌های آنتاگونیستی مؤثر این گونه‌ها علیه پاتوژن‌هایی مانند *Phytophthora capsici*, *Fusarium spp.* و *Rhizoctonia solani* را تأیید کرده‌اند. با توجه به فراوانی بالای جدایه‌ها در ناحیه فریشه و نقش کلیدی این منطقه در تعاملات گیاه-میکروارگانیسم، پیشنهاد می‌شود که در مراحل بعدی پژوهش، آزمون‌های گلخانه‌ای و مزرعه‌ای برای ارزیابی عملکرد بیوکنترلی سویه‌های بومی انجام گیرد. هم چنین بررسی اثر این سویه‌ها بر رشد نهال‌های پسته، مقاومت به تنش‌های زیستی و غیرزیستی، و سازگاری با شرایط خاک‌های مختلف می‌تواند زمینه‌ساز توسعه محصولات زیستی بومی و پایدار باشد.

منابع

1. Askew, D.J. and Laing, M.D. 1993. An adapted selective medium for the quantitative isolation of Trichoderma species. Plant Pathology, 42(5): 686–690.
2. Chaverri, P., Vargas, C., Soto, J.G. and Drechsler-Santos, E.R. 2015. Systematics of the Trichoderma harzianum species complex. Mycologia, 107(3): 558–577.
3. Davet, P. 1979. Techniques for the isolation of soil fungi. INRA Publications.
4. Harman, G.E., Howell, C.R., Viterbo, A., Chet, I. and Lorito, M. 2021. *Trichoderma* in agriculture: from lab to field. Frontiers in Plant Science, 12: 718605.
5. Howell, C.R. 2003. Mechanisms employed by Trichoderma species in the biological control of plant diseases. Phytopathology, 93(1): 34–39.
6. Jaklitsch, W.M. 2009. European species of Hypocrea Part I: Trichoderma section Longibrachiatum. Studies in Mycology, 63: 1–91.
7. Jamali, S., Zafari, D. and Moradi, M. 2016. Inhibition of Trichoderma species on Phytophthora drechsleri. Journal of Nuts, 7(2): 123–130. (In Persian)
8. Mehrabi-Koushki, M. 2008. Survey of Trichoderma diversity in pistachio rhizosphere. M.Sc. thesis, University of Tehran, Tehran, Iran. (In Persian)
9. Meincke, R., Schneider, T., Schmidt, S., Zafari, D. and Schulz, B. 2010. Diversity of Trichoderma species in soils of Germany. Applied Soil Ecology, 45(2): 284–290.
10. Mukherjee, P.K., Hormazdi, V., Chakraborty, N. and Ghosh, A. 2023. Trichoderma as a model fungus for biocontrol and plant growth promotion. Microbiological Research, 266: 127234.
11. Rodríguez-Martínez, E., González, J., Pérez, M. and Torres, L. 2025. Trichoderma species from semiarid regions and their antagonism. Journal of Fungi, 11(3): 174.
12. Samolski, I., Rincon, A.M., Villalba, M.T. and Casas, J. 2009. Biocontrol mechanisms of Trichoderma spp. Journal of Plant Pathology, 91(2): 385–392.
13. Samuels, G.J., Drechsler-Santos, E.R. and Bricker, M. 2002. Trichoderma systematics: the state of the art. Mycological Research, 106(7): 757–791.
14. Siddiquee, S. 2017. Practical handbook of the biology and molecular diversity of Trichoderma species. Springer, Singapore: pp. 1–320.
15. Vinale, F., Lombardi, N., Marra, R. and Lorito, M. 2024. Recent advances in Trichoderma-based biostimulants. Journal of Applied Microbiology, 136(1): 45–59.
16. Vinale, F., Sirigu, S., Sivasithamparam, K., Lorito, M. and Marra, R. 2008. Trichoderma–plant–pathogen interactions. Soil Biology & Biochemistry, 40(1): 1–10.
17. Zafari, D., Jamali, S. and Moradi, M. 2003. Identification of Trichoderma species in Iranian pistachio orchards. Iranian Journal of Plant Pathology, 39(2): 45–52. (In Persian)

Journal of Applied Researches in
NUTS

دانشگاه آزاد اسلامی واحد رفسنجان
ISLAMIC AZAD UNIVERSITY OF RAFSANJAN

Vol 2,NO3,Spring - Summer 2025

1.A Review of Phytochemical Compounds and Therapeutic Properties of *Juglans regia* L. Case study: Kerman Province

Shahab Ojani, Mozhgan Masoudi, Seyed Mohammad Reza Hosseinipour

2.Analysis of the global market for pistachio production and export and evaluation of changes in the comparative advantage of Iranian pistachio exports

Seyed Mohammad Reza Hosseinipour

3.Evaluation of the Efficacy of Nanoparticles and Commercial Fungicides in Inhibiting Collar and Root Rot Pathogens in Pistachio Trees

Jalal Shabani , Fatemeh Hassanzadeh Davarani , Amir Hossein Mohammadi

4.The effect of different sulfur sources on the common pistachio psyllid and some of its natural enemies in case studies

Zahra Sheibani Tezerji

5.Optimization of the micropropagation protocol for the UCB1 pistachio rootstock

Fereshteh Kamiab

6.Identification of Native *Trichoderma* Species with High Abundance in the Rhizosphere of Pistachio Trees

Mohammad Moradi Ghahderijani, Fatemeh Hassanzadeh Davarani