Kharazmi University

Nova Biologica Reperta

Print ISSN: 2423-6330
Online ISSN: 2476-7115

Homepage: https://nbr.khu.ac.ir/

Studying the effect of irrigation with urban and industrial wastewater on the growth indices of green space plants in a pelletizing factory

Mahsa Arami Ardakani [1], Jalal Gholamnezhad [2]✉, Mostafa Shirmardi [3]

1. Former Master's Student, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan, Ardakan, Iran. E-mail: mahsaarami 2980@gmail.com
2. Corresponding author, Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan, Ardakan, Iran. E-mail: jgholamnezhad@ardakan.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Ardakan, Ardakan, Iran. E-mail: jgholamnezhad@ardakan.ac.ir E-mail: shirmardi@ardakan.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 17 July 2024
Received in revised form 03 May 2025
Accepted 10 Agust 2025
Available online 15 September 2025 , Monday

Keywords:
Microelements,
Unconventional waters,
Water resources,
Water recycling

ABSTRACT

Objective: Nowadays, a significant amount of municipal wastewater and industrial effluents is produced in cities, making proper management of these water resources essential. In recent years, due to water scarcity, the use of these waters in agriculture and green spaces has increased. Although the application of municipal wastewater has benefits such as supplying essential nutrients for plants and improving soil physicochemical properties, it may also pose some health risks. Industrial effluents, which are essentially water used in industrial processes, contain heavy metals as well as essential plant nutrients.

Method: The present study aimed to investigate the effects of these waters on the morphological and physiological traits of several plants cultivated in the green space of the Chadormalu Industrial Complex, located in Ardakan County, Yazd Province, Iran. The study was conducted in a completely randomized block design, examining the effects of three treatments—municipal wastewater, industrial effluent, and a combination of both—on the morphological and physiological traits of six plant species, including olive, eucalyptus, pomegranate, Tehran pine, Egyptian silk tree, and bitter elaeagnus, with three replications.

Results: The results showed that municipal wastewater treatment led to a significant increase in the height of pomegranate, olive, bitter elaeagnus, and Egyptian silk trees. Notably, the tallest trees in all species (pomegranate, olive, bitter elaeagnus, eucalyptus, pine, and Egyptian silk) were observed in the wastewater treatment, showing a significant difference compared to other treatments. Additionally, the largest trunk diameter (25.47 cm) was recorded in olive trees treated with municipal wastewater, while the smallest (24.63 cm) was found in trees treated with industrial effluent. The findings indicated that industrial effluents, and particularly municipal wastewater, contain essential nutrients for plants. Given the limited availability of micronutrients in the soil, these treatments positively influenced plant growth. In pomegranate trees, the highest and lowest iron concentrations were found in industrial effluent and municipal wastewater treatments, respectively, with significant differences between them. The presence of trace iron in industrial effluent increased its concentration in the aerial parts of the plants.

Conclusions: The study concluded that municipal wastewater and industrial effluent treatments had the greatest impact on the morphological and physiological traits of the studied plants, respectively. Morphological traits were more influenced by compounds affecting growth characteristics, such as nitrogen-rich compounds in municipal wastewater. In contrast, industrial effluents, containing heavy metals, had a more pronounced effect on physiological traits rather than morphological ones.

Cite this article: Arami Ardakani, M., Gholamnezhad, J., & Shirmardi, M. (2025). [Title of paper in lower case letters (except for initial letter of first word, initial of first word after a colon, and proper nouns)]. *Nova Biologica Reperta*, 12 (3), 1-25. http//doi.org/ 10.22034/NBR.12.3.2

© The Author(s).
Publisher: Kharazmi University.
DOI: http//doi.org/ 10.22034/NBR.12.3.2

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

Introduction

Water scarcity is a critical challenge in arid and semi-arid regions like Ardakan County in Yazd Province, Iran, where annual precipitation is low (around 60 mm). This limitation hinders agricultural and green space development. Concurrently, urban and industrial growth generates substantial volumes of municipal wastewater and industrial effluents. The sustainable management and reuse of these non-conventional water resources present a viable strategy to alleviate water stress, support green infrastructure, and reduce environmental pollution.

Municipal wastewater, while requiring careful management due to potential health risks, is a valuable source of essential plant nutrients (e.g., nitrogen, phosphorus) and can improve soil physicochemical properties. Industrial effluents, derived from process water, contain both essential micronutrients and potentially harmful heavy metals. This study investigates the comparative effects of these water sources on the morphological and physiological traits of several tree species cultivated in the green space of the Chadormalu Industrial Complex's pelletizing plant. The research aims to provide a practical model for using treated wastewater in industrial landscaping under arid conditions.

2. Materials and Methods

Experimental Design: The study was conducted at the Chadormalu Industrial Complex (pelletizing unit). A completely randomized block design with three replications was employed.

Irrigation Treatments: Three water sources were used as irrigation treatments:

Treated Municipal Wastewater (MWW)

Industrial Effluent (IE)

A 50:50 Mixture of MWW and IE (Mix)

Plant Species: Eight-year-old trees of six species were studied: Olive (Olea europaea), Eucalyptus (Eucalyptus sp.), Pomegranate (Punica granatum), Tehran Pine (Pinus eldarica?), Egyptian Silk Tree (Albizia julibrissin?), and Bitter Elaeagnus (Elaeagnus angustifolia).

Measured Parameters:

Morphological Traits: Tree height, trunk diameter at breast height (DBH), and canopy spread (radius).

Physiological Traits: Concentration of micro-elements (Fe, Zn, Mn, Cu) and heavy metals (Cd, Pb) in leaf tissues, measured via dry ashing and atomic absorption/emission spectroscopy.

Data Analysis: Data were analyzed using ANOVA in SAS software (v9.2), and means were compared using Duncan's multiple range test at the 1% significance level.

3. Key Results

3.1. Morphological Traits

Tree Height: The MWW treatment resulted in a significant increase in height for all six plant species compared to the IE and Mix treatments. The tallest trees for each species (e.g., Pomegranate: 197 cm; Olive: 267.33 cm; Eucalyptus: 947.33 cm) were consistently observed under MWW irrigation.

Trunk Diameter (DBH): The effect of irrigation treatments on trunk diameter was significant. The largest trunk diameter (25.47 cm) was recorded in Olive trees irrigated with MWW, while the smallest (24.63 cm) was in Olive trees irrigated with IE. For species like Pomegranate, Bitter Elaeagnus, and Egyptian Silk Tree, no significant differences in DBH were found among the three treatments.

3.2. Physiological Traits (Elemental Concentration in Leaves)

Essential Micronutrients (Fe, Zn, Mn, Cu): Across all plant species, the IE treatment consistently led to the highest concentrations of iron (Fe), zinc (Zn), manganese (Mn), and copper (Cu) in the leaf tissues, showing significant differences compared to the MWW treatment. The Mix treatment generally resulted in intermediate concentrations. For example,

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

in Pomegranate, Fe concentration was highest with IE (48.15 mg/kg) and lowest with MWW (41.67 mg/kg).

Heavy Metals (Cd, Pb): Similarly, concentrations of the non-essential, potentially toxic elements cadmium (Cd) and lead (Pb) were significantly highest in plants irrigated with IE. For instance, Cd levels in Olive were 0.20 mg/kg (IE) vs. 0.14 mg/kg (MWW). It is crucial to note that the reported concentrations for all elements, including heavy metals, were stated to be below critical phytotoxic levels for the plants in this study.

4. Discussion and Conclusions

The findings demonstrate a clear differential impact of the two wastewater types:

Municipal Wastewater (MWW) is Superior for Morphological Growth: The most significant positive impact on morphological traits (height, canopy spread) was observed with MWW irrigation. This is attributed to its rich content of macronutrients (notably nitrogen) and essential micronutrients, which act as a liquid fertilizer, enhancing vegetative growth, particularly in the nutrient-deficient soils of the region.

Industrial Effluent (IE) Primarily Influences Physiological Composition: The most pronounced effect on physiological traits (elemental uptake and concentration) was seen with IE irrigation. This effluent served as a significant source of micronutrients (Fe, Zn, Mn, Cu) and heavy metals (Cd, Pb), leading to their increased accumulation in plant tissues. While the absorbed levels of heavy metals were within safe limits in this case, this highlights the critical need for continuous monitoring of effluent quality to prevent long-term soil and plant toxicity.

Practical Implications and Recommendations:

For Enhanced Growth: Treated municipal wastewater is recommended as an excellent irrigation source for establishing and maintaining green spaces in arid industrial areas, promoting better plant growth and canopy development.

For Nutrient Supply: Industrial effluent can supplement micronutrients, but its use requires stringent quality control.

Integrated Approach: A blended strategy (like the Mix treatment) might balance growth promotion with controlled nutrient supply, though its effects were generally intermediate.

Species-Specific Responses: The varied response among species (e.g., in trunk diameter) suggests that selecting appropriate plant species is vital for successful wastewater-irrigated landscaping.

Conclusion:

This study confirms that both treated municipal wastewater and industrial effluent can be utilized as alternative water resources for irrigating green spaces in water-scarce industrial zones. MWW is particularly effective for promoting plant growth and biomass, while IE significantly alters the plant's mineral composition. The key to sustainable application lies in rigorous pretreatment, continuous monitoring of water quality (especially for heavy metals in IE), and informed species selection to ensure environmental safety and optimal greening outcomes.

Black zira (*Bunium persicum* (Boiss.) Fedtsch.) is a perennial, self-pollinated, herbaceous plant belonging to the Apiaceae family. Wild populations of black zira are scattered across the western and northwestern highlands of Iran, as well as southeastern regions including Kerman, Sistan and Baluchestan, and parts of Khorasan.

Black zira exhibits relatively slow initial growth and establishment. During the first year, only cotyledonary leaves and small tubers (up to 4 mm in diameter) are formed below the soil surface. Due to summer environmental conditions such as high temperature and drought, the tubers enter dormancy. In general, establishment and seed production in black zira require three

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

to four cropping years. This prolonged growth period has reduced farmers' willingness to cultivate this valuable medicinal plant.

Nutrient solutions (solid or liquid fertilizers) are widely used to optimize plant nutrition under different cultivation systems. In addition to nutrition, tuber weight (tuber age) is considered an effective factor influencing the yield of black zira. Since tubers function as storage organs for photosynthetic assimilates, cultivation of this plant is commonly performed using tubers. It appears that tuber size can significantly affect emergence, vegetative growth, and yield of black zira.

Currently, natural habitats are the sole sources of Iranian black zira production. However, due to excessive and unregulated harvesting, this species is facing the risk of extinction. In Iran, black zira is mostly cultivated on a small scale and in limited areas, and domestication of this valuable medicinal plant has not yet been achieved. Only a few countries worldwide have introduced cultivated varieties of black zira.

The aim of this study was to identify the responses of Iranian black zira to different fertilizer concentrations and to evaluate the effects of tuber weight and age on its growth characteristics. The results of this research may contribute to accelerating growth, improving cultivation practices, and facilitating the domestication of this economically important plant.

.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

یافته‌های نوین در علوم زیستی
Homepage: https://nbr.khu.ac.ir/
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۶۳۳۰
شاپا الکترونیکی: ۲۴۷۶-۷۱۱۵
دانشگاه خوارزمی

بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری و پساب‌صنعتی بر شاخص های رشدی گیاهان فضای‌سبز کارخانه گندله‌سازی

مهسا آرامی اردکانی[۱]، جلال غلام‌نژاد[۲]✉، مصطفی شیرمردی[۳]

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران. رایانامه: abcdef@khu.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران رایانامه: jgholamnezhad@ardakan.ac.ir

۳. دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران رایانامه: shirmardi@ardakan.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۷
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۱۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۲۴

کلیدواژه‌ها:
آب‌های نامتعارف،
منابع آب،
بازچرخانی آب،
عناصر میکرو

چکیده

مقدمه: امروزه حجم زیادی فاضلاب شهری و پساب صنایع مختلف در شهرها تولید شده که مدیریت صحیح این منابع آبی ضروری می‌باشد. کاربرد فاضلاب شهری علی رغم داشتن فوایدی از قبیل اضافه نمودن عناصر غذایی ضروری برای گیاه و بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک، ممکن است برخی مخاطرات بهداشتی به همراه داشته باشد. پساب صنایع که در اصل آب مورد استفاده در چرخه یک صنعت می‌باشد، حاوی عناصر سنگین و همچنین عناصر ضروری برای گیاه می‌باشد.

مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر با هدف بررسی تاثیر آب‌های مذکور بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک چندین گیاه کشت شده در فضای سبز مجتمع صنعتی چادرملو واقع در شهرستان اردکان استان یزد انجام شد. پژوهش حاضر به صورت بلوک های کاملا تصادفی، اثر سه تیمار فاضلاب شهری، پساب صنعتی و ترکیبی از فاضلاب شهری و پساب صنعتی را بر صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک شش گونه گیاهی شامل زیتون، اکالیپتوس، انار، کاج تهران، ابریشم مصری و سنجد تلخ با سه تکرار مورد بررسی قرار داد.

نتایج: نتایج نشان داد که بیشترین ارتفاع دردرختان انار، زیتون، سنجد تلخ، اکالیپتوس، کاج و ابریشم مصری در تیمار با فاضلاب مشاهده شد که با سایر تیمارها تفاوت معنی‌دار داشتند. علاوه براین، نتایج نشان داد که بزرگترین قطر تنه به میزان۲۵/۴۷ سانتی متر مربوط به درختان درختان زیتون تیمار شده با فاضلاب شهری و کمترین آن به میزان ۲۴/۶۳ سانتی متر، مربوط به درختان تیمار شده با پساب صنعتی بود. با توجه به نتایج استفاده از تیمار پساب صنعتی و به ویژه فاضلاب شهری حاوی عناصر ضروری برای گیاهان بوده و از آن‌جایی‌که فراهمی عناصر میکرو در خاک کم می‌باشد، اثر مثبتی بر رشد گیاه داشته‌اند. نتایج نشان داد که در درختان انار بیشترین و کمترین غلظت آهن به ترتیب مربوط به پساب صنعتی و فاضلاب شهری بود که با سایرین تفاوت معنی‌داری داشتند.

نتیجه‌گیری: وجود عنصر کم مصرف آهن در پساب صنعتی، سبب افزایش غلظت این عنصر در اندام هوایی شد. نتایج پژوهش اخیر بیانگر آن است که بیشترین تأثیر تیمارهای فاضلاب شهری و پساب صنعتی در گیاهان مذکور به ترتیب بر صفات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی بودند. صفات مورفولوژیکی بیشتر تحت تأثیر ترکیباتی هستند که بر خصوصیات رشدی تأثیر گذار هستند، لذا به علت بالا بودن ترکیبات نیتروژنه در فاضلاب شهری، این ترکیبات اثرات مستقیمی بر صفات موفولوژیکی دارند. علاوه بر این، پساب صنعتی با محتوای فلزات سنگین بیشتربر روی صفات فیزیولوژیک موثرند.

استناد: آرامی اردکانی، مهسا؛ غلام‌نژاد، جلال؛ و شیرمردی، مصطفی (۱۴۰۴). بررسی اثر آبیاری با فاضلاب شهری و پساب صنعتی بر شاخص‌های رشدی گیاهان فضای سبز کارخانه گندله‌سازی. *یافته‌های نوین در علوم زیستی*، ۱۲(۳):۲۵-۱

http//doi.org/ 10.22034/NBR.12.3.2

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

© نویسندگان.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

مقدمه

شهرستان اردکان از شهرستان‌های استان یزد در مرکز ایران است که دارای اقلیم کویری می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه در این منطقه حدود ۶۰ میلی‌متر است که کمبود منابع آبی، توسعه کشاورزی را در اردکان با محدودیت مواجه کرده است (Zahtabian et al., 2018). بحران منابع آبی در بسیاری از مناطق کشور، توجه متخصصان کشاورزی را به استفاده از فاضلاب شهری و پساب صنعتی معطوف نموده است. مطالعات خسروی و همکاران (۲۰۲۰) نشان داده‌اند که استفاده از پساب صنعتی موجب افزایش کلسیم و منیزیم محلول، فسفر قابل جذب و آنیون سولفات در خاک شده و تأثیر معناداری بر رشد و عملکرد تربچه داشته است. فاضلاب شهری علاوه بر تأمین نیاز آبی گیاهان، بخش قابل توجهی از مواد مغذی موردنیاز آن‌ها را فراهم می‌کند. در برخی موارد، وجود عناصر ضروری مانند نیتروژن در فاضلاب شهری منجر به کاهش مصرف کودهای شیمیایی و در نتیجه کاهش هزینه‌های تولید شده است (صادقی و احمدی، ۱۴۰۰). برخی پژوهش‌ها حاکی از آن است که غلظت مواد مغذی در فاضلاب شهری اغلب بیش از نیاز محصولات زراعی است و تنها گونه‌های درختی قادر به تبدیل این وفور مواد مغذی به بیوماس گیاهی هستند (رضایی و سعادت، ۱۳۹۷). همچنین، استفاده از فاضلاب شهری در زمین‌های جنگلی برای جذب فلزات سنگین نتایج مطلوبی در پی داشته است که از جمله می‌توان به کاهش سمیت خاک و بهبود کیفیت محیط اشاره نمود که این امر مرهون توسعه مناسب سیستم ریشه‌ای است (خوش‌روش و همکاران، ۱۴۰۰). ایجاد فضای سبز در حاشیه شهرهای مناطق خشک و نیمه‌خشک با سرانه فضای سبز پایین، برای بهبود شرایط زیست‌محیطی ضروری است (Amiri et al., 2022). در این مناطق، کمبود منابع آبی همواره چالشی اساسی در توسعه فضای سبز محسوب می‌شود. با توجه به نیاز مبرم به ایجاد فضای سبز و محدودیت منابع آبی در اقلیم کویری، ضرورت بهره‌برداری از فاضلاب شهری در کشاورزی و فضای سبز بیش از پیش آشکار می‌شود. از سوی دیگر، صنعتی شدن شهرستان اردکان و رشد جمعیت در دو دهه اخیر منجر به افزایش تولید پساب صنعتی شده است. این امر لزوم یافتن راهکارهایی برای استفاده مجدد از این پساب‌ها در آبیاری فضای سبز را نشان می‌دهد که می‌تواند هم در توسعه فضای سبز و هم در مدیریت منابع آبی مؤثر باشد. بنابراین، این پژوهش به بررسی کاربرد فاضلاب شهری و پساب صنعتی در فضای سبز و کشاورزی و تأثیرات آن‌ها می‌پردازد.

با توجه به اهمیت فضای سبز در شهرهای مناطق خشک مانند اردکان و گسترش صنعت در این منطقه، استفاده از پساب صنعتی و فاضلاب شهری به عنوان منابع آبی جایگزین برای آبیاری فضای سبز از جمله راهکارهای مدیریت منابع محسوب می‌شود. مجتمع چادرملو به عنوان یکی از بزرگترین صنایع شهرستان و کشور، دارای فضای سبز وسیعی است که با انواع پساب آبیاری می‌شود و گیاهان آن از وضعیت مطلوبی برخوردارند. این تحقیق با هدف بررسی ویژگی‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان فضای سبز مجتمع گندله‌سازی که با پساب صنعتی، فاضلاب تصفیه شده شهری و مخلوط آن‌ها آبیاری شده‌اند، انجام شد تا الگویی برای سایر صنایع باشد .

مواد و روش‌ها:

تیمارها

این پژوهش در مجتمع صنعتی چادرملو (واحد گندله‌سازی) واقع در جاده اردکان-نایین انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار آبیاری شامل فاضلاب تصفیه شده شهری، پساب صنعتی و مخلوطی از هر دو اجرا گردید. برای هر گونه گیاهی سه تکرار در نظر گرفته شد. در این مطالعه، جنگل‌کاری‌های انجام شده با گونه‌های زیتون، اکالیپتوس، انار، کاج تهران، ابریشم مصری و سنجد تلخ مورد بررسی قرار گرفتند. هر قطعه به سه بخش تقسیم و با فواصل ۷-۱۲ روز با یکی از تیمارهای آبیاری به مدت هفت ماه آبیاری شدند. کلیه درختان مورد مطالعه هشت ساله بودند. داده‌های آنالیز آب و خاک از آزمایشگاه مجتمع دریافت و در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول ۱- نمونه آنالیز تصفیه فاضلاب شهری مجتمع چادرملو

Table 1. Example of urban wastewater treatment analysis of Chadormello complex

پارامتر	واحد	خروجی پساب
دمای نمونه	C°	۲۵/۶
PH	-	۷/۰۹
EC	µS/cm	۱۸۸۰
TDS	mg/l	۹۴۵
TSS	mg/l	۲
TS	mg/l	۹۷۴
کدورت	NTU	۰/۹۴
COD	mg/L O_2	۱۱/۸
BOD	mg/l O_2	۵
آمونیاک	mg/l -N	۰/۵
آمونیم	mg/l -N	۰/۵۲
سختی کل	mg/l $CaCo_3$	۳۶۰
سختی کلسیم	mg/l $CaCo_3$	۱۷۲
سختی منیزیم	mg/l $CaCo_3$	۱۸۸
کلسیم	mg/l	۶۸/۸
منیزیم	mg/l	۴۵/۸۷
قلیاییت فنل فتالین	mg/l $CaCo_3$	۰
قلیاییت کل	mg/l $CaCo_3$	۲۰۰
قلیاییت بی کربنات	mg/l $CaCo_3$	۲۰۰
نیتریت	mg/l -N	۰/۰۰۲
نیترات	mg/l -N	۱۰/۶
رنگ	Pt-Co	۱۸
سولفات	mg/l So_4	۹۳/۸۶
فسفر کل	mg/l -p	۴/۳۸
فسفات	mg/l Po_4	۱۳/۷
سولفید	mg/l S^{2-}	-
کلیفرم	MPN/100ml	-

جدول ۲– غلظت عناصر در فاضلاب شهری و خاک مورد استفاده در تحقیق

Table 2 – Element concentrations in urban wastewater and soil used in the research

پارامتر	فاضلاب شهری	واحد	خاک	واحد
Fe	۲/۱	$mg.L^{-1}$	۳/۷	$mg.Kg^{-1}$
Zn	۰/۲۷	$mg.L^{-1}$	۲/۱	$mg.Kg^{-1}$
Mn	<۰/۰۱	$mg.L^{-1}$	۲/۳	$mg.Kg^{-1}$
Cu	<۰/۰۱	$mg.L^{-1}$	۰/۵	$mg.Kg^{-1}$
Cd	<۰/۰۱	$mg.L^{-1}$	<۰/۰۱	$mg.Kg^{-1}$
Pb	۲/۶	$mg.L^{-1}$	۰/۱۲	$mg.Kg^{-1}$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول ۳- نمونه آنالیز تصفیه پساب صنعتی مجتمع چادرملو

Table 3. Sample analysis of Chadormello industrial wastewater treatment

	PH	EC	TDS	TU	T-H	Ca-H	PO_4^{3-}	TSS	ORP
		µS/CM	PPm	NUT	PPm	PPm	PPm	PPm	ORP
DAF				۰/۵			۱۱/۶	۰	۸۸
کاتریج UF	۶			۰/۵					
Permeat RO3	۵/۱	۵۹	۳۸		۱/۱	۰/۹			
Reject RO3	۶/۵	۵۷۵۰	۳۷۳۸		۱۰۵۵	۷۲۴			

صفات مورفولوژیک

صفات مورفولوژیک شامل ارتفاع درختان، تاج گستر (کنوپی) درختان (شعاع تاج گستر) و قطر تنهٔ آن‌ها اندازه گیری شدند. هم‌چنین گیاهان پس از برداشت جهت اندازه‌گیری سطح برگ به آزمایشگاه منتقل شدند.

ارتفاع درخت

فاصله عمودی بین طوقه و جوانه انتهایی درخت را ارتفاع نامند. ارتفاع درختان با چوبدست جنگلبان یا متر اندازه‌گیری شد ، چوبدست ابزاری ساده است که هیچ درجه بندی ندارد و طول آن تقریباً یک متر است. چوب را به طور قائم ودر حالت دست کشیده نگه داشته و به درخت نزدیک یا از آن دور می‌کنیم تا طول مشخص شده روی چوبدست، طول درخت را بپوشاند. در این صورت ارتفاع درخت برابر فاصله شخص اندازه‌گیر تا درخت است.

قطر تنه

قطر تنه درختان عموماً در ارتفاع استانداردی موسوم به "ارتفاع برابر سینه" *(DBH)* اندازه‌گیری می‌شود که از سطح زمین به صورت افقی محاسبه می‌گردد. در این زمینه استانداردهای متفاوتی در کشورهای مختلف وجود دارد. در ایران و اکثر کشورهای جهان این اندازه‌گیری در ارتفاع ۱.۳ متری انجام می‌شود، حال آنکه در ایالات متحده و کانادا ارتفاع ۳۷.۱ متر، در انگلستان ۱,۲۹ متر و در ژاپن ۱,۲۵ متر به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود. شایان ذکر است که رشد قطری درختان برخلاف رشد طولی آنها، تا پایان عمر گیاه تداوم دارد و این ویژگی منحصر به فردی در سنجش پارامترهای رشدی درختان محسوب می‌شود. این تفاوت در الگوی رشد، اهمیت اندازه‌گیری دوره‌ای قطر تنه را در مطالعات جنگلداری و بوم‌شناسی دوچندان می‌کند.

صفات فیزیولوژیکی

اندازه‌گیری عناصر

برای اندازه‌گیری عناصر معدنی در گیاهان، از روش هضم خشک استفاده شد. در این روش، پس از تهیه نمونه‌های برگ از گیاهان مورد مطالعه، نمونه‌ها بلافاصله با آب مقطر شسته شدند. سپس نمونه‌ها در پاکت‌های کاغذی قرار گرفته و در آون با دمای ۶۰ تا ۷۰ درجهٔ سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت خشک شدند. پس از خشک شدن کامل، نمونه‌ها آسیاب شده و مقدار مشخصی از پودر حاصل در بوته‌های چینی ریخته شد. این بوته‌ها در کوره با دمای ۴۵۰ درجه سلسیوس خاکستر شدند. مرحله هضم نمونه‌ها با استفاده از اسید کلریدریک یک نرمال و تحت حرارت انجام گرفت. در نهایت، پس از صاف کردن محلول‌ها با کاغذ صافی واتمن ۴۲، حجم نمونه‌ها به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد و غلظت عناصر موجود در محلول با استفاده از دستگاه‌های مربوطه قرائت گردید. نتایج به صورت میلی‌گرم در کیلوگرم ماده خشک و یا درصد گزارش شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

در بخش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی استفاده شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها، اطلاعات در نرم‌افزار اکسل سازماندهی شده و سپس آنالیز واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری *SAS* نسخه ۹,۲ انجام گرفت. برای مقایسه میانگین‌ها از

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح معنی‌داری یک درصد استفاده شد. این روش‌های آماری امکان بررسی دقیق تفاوت‌های بین تیمارهای مختلف را فراهم آورد.

نتایج و بحث

ارتفاع درختان

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع گیاهان مورد بررسی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با توجه به نتایج می توان دریافت که بالاترین ارتفاع در درختان انار (۱۹۷سانتی‌متر) و زیتون (۲۶۷/۳۳سانتی‌متر) مربوط به تیمار فاضلاب بود، و در هر مورد هم این تیمار با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی دار است (جدول های ۳ و ۵). بالاترین ارتفاع در درختان سنجد تلخ (۲۶۲ سانتی‌متر) در تیمار با فاضلاب مشاهده شد و با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی دار بود(جدول ۵)؛ اما در مورد اکالیپتوس درختان تیمار شده با فاضلاب تصفیه شده، بالاترین ارتفاع (۹۴۷/۳۳ سانتی‌متر) را نشان دادند (جدول ۴). بررسی تیمارهای درختان کاج مشخص کرد که بالاترین ارتفاع (۲۸۴/۶۷ سانتی‌متر) مربوط به تیمار آنها با فاضلاب است که با سایر تیمارها دارای تفاوت معنی دار بود (جدول ۵). تیمار درختچه های ابریشم مصری با فاضلاب شهری، بالاترین ارتفاع (۱۷۹ سانتی‌متر) را نسبت به سایر تیمارها نشان داد.

کمترین ارتفاع در درختان انار(۱۸۳/۳۳ سانتی‌متر)، زیتون (۲۵۰/۶۷ سانتی‌متر) و سنجد تلخ (۲۴۹ سانتی‌متر)، مربوط با تیمار آنها با پساب صنعتی بود (جدول های ۴ و ۵). کمترین ارتفاع (۸۸۳/۳۳ سانتی‌متر) درختان اکالیپتوس مربوط به تیمار ترکیبی پساب صنعتی و فاضلاب شهری بود (جدول ۵).

جدول ۴- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع

Table 4- Variance analysis of the effect of different treatments on height

		مجموع مربعات					
منابع تغییرات	Df درجه آزادی	انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
بلوک	۲	۴۳.۱۲^{ns}	۵۲.۲۶^{ns}	۵۵.۹۸^{ns}	۱۶۰.۹۸^{ns}	۶۳.۹۸^{ns}	۴۳.۲۹^{ns}
تیمارها	۲	۴۱.۹۶**	۴۹.۲۱**	۴۸.۳۲**	۱۵۰.۲۵**	۵۸.۲۶**	۳۸.۲۱**
خطا	۶	۱.۶۹	۱.۹۶	2.۱۸	۵.۰۵	۲.۰۳	۲.۴۲
c.v		۶.۵۲	۱.۰۲	۵.۶۵	۳.۳۴	۲.۱۶	۴.۱۸

^{ns} اختلاف معنی دار وجود ندارد. **معنی دار در سطح احتمال ۱٪

^{ns} There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر ارتفاع

Table 5. Comparison of the average effect of different treatments on height

ردیف	تیمارها		ارتفاع*
۱	انار	پساب صنعتی	۱۸۳.۳۳^{c}
۲		فاضلاب	۱۹۷.۰۰^{a}
۳		مخلوط	۱۸۵.۶۷^{b}
۴	زیتون	پساب صنعتی	۲۵۰.۶۷^{b}
۵		فاضلاب	۲۶۷.۳۳^{a}
۶		مخلوط	۲۵۱.۶۷^{b}
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۲۴۹.۰۰^{c}
۸		فاضلاب	۲۶۲.۰۰^{a}
۹		مخلوط	۲۵۹.۳۳^{b}
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۸۸۲.۶۷^{b}
۱۱		فاضلاب	۹۴۷.۳۳^{a}
۱۲		مخلوط	۸۸۳.۳۳^{b}
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۲۷۲.۶۷^{c}
۱۴		فاضلاب	۲۸۴.۶۷^{a}
۱۵		مخلوط	۲۷۷.۶۷^{b}
۱۶	ابریشم مصری	پساب صنعتی	۱۶۳.۳۳^{b}
۱۷		فاضلاب	۱۷۹.۰۰^{a}
۱۸		مخلوط	۱۶۳.۳۳^{b}

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

قطر تنه

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر قطر تنه درختان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود(جدول ۶). بر اساس نتایج به‌دست آمده، سه نوع تیمار پساب صنعتی، تصفیه فاضلاب شهری و ترکیب آن‌ها بر قطر تنه درختان انار، سنجد تلخ و ابریشم مصری دارای تفاوت معنی‌دار نبودند (جدول ۷). نتایج نشان داد که بزرگترین قطرتنه (۲۵/۴۷ سانتی متر) در درختان زیتون مربوط به تیمار با فاضلاب شهری و کمترین آن (۲۴/۶۳ سانتی متر) مربوط به تیمار با پساب صنعتی بود هرچند با تیمار آبی ترکیبی دارای تفاوت معنی دار نبودند(جدول ۷). بررسی تیمارهای درختان اکالیپتوس نشان داد که بیشترین قطر تنه در درختان تیمار شده با فاضلاب بود که با تیمار آبی ترکیبی دارای تفاوت معنی دار نبودند و کمترین قطر (۱۷/۶۶ سانتی متر) مربوط به تیمار آن‌ها با پساب صنعتی بود (جدول ۷).

جدول ۶- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر قطر تنه

Table 6. Variance analysis of the effect of different treatments on trunk diameter

منابع تغییرات	Df درجه آزادی	مجموع مربعات					
		انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
بلوک		۳۰.۶۳^{ns}	۳۴.۹۶^{ns}	۵۵.۹۵^{ns}	۲۵.۹۸^{ns}	۴۱.۶۹^{ns}	۳۹.۶۲^{ns}
تیمارها	۲	۲۶.۱۷**	۲۹.۸۷**	۵۲.۳۶**	۲۱.۸۷**	۳۵.۲۵**	۳۳.۵۰**
خطا	۶	۲.۵۴	۱.۳۲	۲.۱۷	۲.۱۶	۱.۱۳	۲.۴۲
c.v	۸	۵.۰۶	۲.۱۴	۹.۳۸	۹.۰۶	۱۰.۹۶	۹.۲۸

^{ns} اختلاف معنی دار وجود ندارد. **معنی دار در سطح احتمال ۱٪

^{ns} There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف بر قطر تنه

Table 7. Comparison of the average effect of different treatments on trunk diameter

ردیف	تیمارها		اندازه قطر تنه*
۱	انار	پساب صنعتی	۲۴/۳۰^{a}
۲		فاضلاب	۲۴/۷۲^{a}
۳		مخلوط	۲۴/۴۰^{a}
۴	زیتون	پساب صنعتی	۲۴/۶۳^{ab}
۵		فاضلاب	۲۵/۴۷^{a}
۶		مخلوط	۲۴/۵۶^{ab}
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۱۹/۸۶^{a}
۸		فاضلاب	۲۰/۵۰ ^{a}
۹		مخلوط	۲۳/۲۱ ^{a}
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۱۷/۶۶^{b}
۱۱		فاضلاب	۲۲/۲۷ ^{a}
۱۲		مخلوط	۲۲/۲۳ ^{a}
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۲۲/۴۴ ^{a}
۱۴		فاضلاب	۲۱/۰۳^{ab}
۱۵		مخلوط	۲۰/۸۸/^{b}
۱۶	ابریشم مصری	پساب صنعتی	۱۳/۲۰^{a}
۱۷		فاضلاب	۱۳/۸۷^{a}
۱۸		مخلوط	۱۳/۴۳^{a}

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

صفات فیزیولوژیکی

عنصر آهن

تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر میزان آهن گیاهان داشته‌اند، در حالی که بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۸). در میان گونه‌های مورد مطالعه، بالاترین غلظت آهن در تیمار پساب صنعتی ثبت گردید که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان می‌داد. درختان انار در تیمار پساب صنعتی با ۴۸/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم آهن بیشترین مقدار و در تیمار فاضلاب با ۴۱/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار این عنصر را دارا بودند (جدول ۹). نتایج مشابهی در سایر گونه‌های گیاهی نیز مشاهده شد، به طوری که در زیتون غلظت آهن از ۴۸/۱۵ (تیمار فاضلاب) تا ۵۴/۳۶میلی‌گرم بر کیلوگرم (تیمار پساب صنعتی) در نوسان بود. سنجد تلخ نیز الگوی مشابهی را نشان داد و بیشترین مقدار آهن (۵۷/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار پساب صنعتی و کمترین مقدار (۴۸/۴۱۵میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار فاضلاب اندازه‌گیری شد (جدول ۹). در مورد اکالیپتوس و ابریشم مصری، تیمار پساب صنعتی به ترتیب با مقادیر ۶۳/۸۱ و ۴۲/۴۰ میلی‌گرم آهن در کیلوگرم برتری معنی‌داری نسبت به تیمار فاضلاب (۵۶/۵۸ و ۳۹/۲۱میلی‌گرم بر کیلوگرم) نشان داد (جدول ۹). این نتایج حاکی از آن است که استفاده از پساب صنعتی می‌تواند به عنوان منبع مناسبی برای تأمین آهن مورد نیاز گیاهان در سیستم‌های کشت مورد توجه قرار گیرد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر عنصر آهن

Table ۸- Variance analysis of the effect of different treatments on iron element

منابع تغییرات	Df درجه آزادی	مجموع مربعات انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
بلوک	۲	۱۵.۹۶^{ns}	۱۷.۸۹^{ns}	۱۷.۰۹^{ns}	۱۹.۸۷^{ns}	۱۹.۰۲^{ns}	۱۴.۹۸^{ns}
تیمارها	۲	۱۲.۳۶**	۱۳.۲۶**	۱۵.۹۶**	۱۶.۱۷**	۱۵.۰۶**	۱۰.۲۷**
خطا	۶	۱.۹۶	۱.۰۷	۲.۰۲	۱.۹۶	۱.۰۶	۱.۲۱
c.v	۸	۳.۶۳	۴.۹۸	۱.۶۵	۵.۶۳	۲.۰۹	۳.۰۲

ns اختلاف معنی دار وجود ندارد. **معنی دار در سطح احتمال ۱٪

^{ns} There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

جدول ۹- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان آهن

Table ۹- Comparison of the average effect of different treatments on the amount of iron

ردیف	تیمارها		آهن*
۱	انار	پساب صنعتی	۴۸/۱۵^{a}
۲		فاضلاب	۴۱/۶۷^{c}
۳		مخلوط	۴۴/۲۱^{bc}
۴	زیتون	پساب صنعتی	۵۴/۳۶^{ab}
۵		فاضلاب	۴۸/۱۵^{c}
۶		مخلوط	۵۳/۰۵^{b}
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۵۷/۳۳^{a}
۸		فاضلاب	۴۸/۱۵^{c}
۹		مخلوط	۵۲/۲۵^{b}
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۶۳/۸۱^{a}
۱۱		فاضلاب	۵۶/۵۸^{b}
۱۲		مخلوط	۵۹/۲۱^{ab}
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۵۵/۳۸^{a}
۱۴		فاضلاب	۵۲/۴۸^{b}
۱۵		مخلوط	۵۵/۰۵^{a}
۱۶	ابریشم مصری	پساب صنعتی	۴۲/۴۰^{a}
۱۷		فاضلاب	۳۹/۲۱^{b}
۱۸		مخلوط	۴۱/۲۹^{ab}

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

عنصر روی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح ۱٪ بر میزان روی در گیاهان داشته‌اند، در حالی که بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۰). در گونه‌های مختلف گیاهی، الگوی جذب روی تحت تأثیر نوع تیمار آبیاری قرار گرفت. در درختان انار، بالاترین غلظت روی (۱۸/۰۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار پساب صنعتی مشاهده شد، اگرچه بین تیمارها اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱۱). در زیتون، تیمار پساب صنعتی با ۲۱/۰۸ میلی‌گرم روی در کیلوگرم به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار فاضلاب (۱۸/۱۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) قرار گرفت. سنجد تلخ نیز بیشترین مقدار

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

روی (۲۲/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در تیمار پساب صنعتی و کمترین مقدار (۱۸/۶۱میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در تیمار فاضلاب نشان داد (جدول ۱۱). در اکالیپتوس، غلظت روی از ۲۲/۰۶(تیمار فاضلاب) تا ۲۵/۸۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم (تیمار پساب صنعتی) متغیر بود. در مورد کاج تهران، اگرچه بیشترین مقدار روی (۲۱/۶۰میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار پساب صنعتی ثبت شد، اما بین تیمارها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. ابریشم مصری در تیمار آب مخلوط بالاترین میزان روی (۱۴/۵۵ میلی‌گرم بر کیلوگرم) را نشان داد که با تیمار پساب صنعتی تفاوت معنی‌داری نداشت، در حالی که تیمار فاضلاب با ۱۳/۵۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار را به خود اختصاص داد (جدول ۱۱). این نتایج حاکی از آن است که اگرچه پساب صنعتی در بسیاری از موارد منجر به افزایش جذب روی شده است، اما در برخی گونه‌ها مانند انار و کاج تهران، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده نشده است. همچنین در ابریشم مصری، تیمار آب مخلوط عملکردی مشابه با پساب صنعتی داشته است.

جدول ۱۰- تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر مقدار عنصر روی

Table 10. Variance analysis of the effect of different treatments on the amount of zinc element

منابع تغییرات	Df درجه آزادی	مجموع مربعات					
		انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
بلوک	۲	۷.۶۵^{ns}	۹.۰۶^{ns}	۹.۶۳^{ns}	۱۲.۵۲^{ns}	۱۲.۹۸^{ns}	۷.۳۲^{ns}
تیمارها	۲	۵.۹۶**	۷.۵۶**	۸.۱۲**	۸.۹۱**	۷.۹۶**	۴.۰۱**
خطا	۶	۱.۱۵	۲.۳۲	۱.۲۷	۰.۹۸	۱.۲۷	۱.۶۵
c.v	۸	۲.۱۲	۳.۹۱	۴.۱۸	۲.۲۵	۳.۱۲	۶.۲۶

^{ns} اختلاف معنی دار وجود ندارد. **معنی دار در سطح احتمال ۱٪

^{ns} There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

جدول ۱۱- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان روی

Table 11- Comparison of the average effect of different treatments on the amount of zinc

ردیف	تیمارها		میزان روی*
۱	انار	پساب صنعتی	۱۸/۰۳^{a}
۲		فاضلاب	۱۸/۹۴^{a}
۳		مخلوط	۱۷/۲۷^{a}
۴	زیتون	پساب صنعتی	۲۱/۰۸^{a}
۵		فاضلاب	۱۸/۱۵^{b}
۶		مخلوط	۲۰/۴۴^{ab}
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۲۲/۵۷^{ab}
۸		فاضلاب	۱۸/۶۱^{bc}
۹		مخلوط	۲۰/۰۶^{b}
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۲۵/۸۱^{a}
۱۱		فاضلاب	۲۲/۰۶^{bc}
۱۲		مخلوط	۲۳/۵۱^{abc}
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۲۱/۶۰^{a}
۱۴		فاضلاب	۲۰/۱۵^{a}
۱۵		مخلوط	۲۱/۴۳^{a}
۱۶	ابریشم مصری	پساب‌صنعتی	۱۵/۱۱^{a}
۱۷		فاضلاب	۱۳/۵۱^{abc}
۱۸		مخلوط	۱۴/۵۵^{a}

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

عنصر منگنز

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر میزان منگنز درختان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۲). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که بین بلوک‌ها در سطح یک درصد اختلاف معنی دار وجود ندارد. بررسی نتایج نشان داد که در انار بیشترین میزان منگنز (۲/۳۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به درختان تیمار شده با پساب صنعتی بود و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی دار است و کمترین مقدار(۲/۰۱ میلی‌گرم در کیلوگرم) آن در تیمار با فاضلاب بود (جدول ۱۳). بیشترین مقدار منگنز (۲/۵۷میلی‌گرم در کیلوگرم) در درختان زیتون، مربوط به تیمار پساب صنعتی و کمترین میزان آن (۲/۳۳ میلی‌گرم در کیلوگرم)در تیمار با فاضلاب بود (جدول ۱۳). بررسی تیمارهای سنجد تلخ نشان داد که بیشترین مقدار منگنز (۲/۶۹ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار با پساب صنعتی بود که با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی دار است و کمترین میزان منگنز (۲/۴۸ میلی گرم در کیلوگرم) در تیمار با فاضلاب است (جدول ۱۳). بررسی ها در مورد درختان اکالیپتوس نشان داد که بیشترین مقدار منگنز(۲/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در این درختان مربوط به تیمار آن‌ها با پساب صنعتی بود و با سایر تیمارها دارای اختلاف معنی دار است و کمترین مقدار منگنز در آن (۲/۹۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار با فاضلاب مشاهده شد (جدول ۱۳). بررسی تیمارهای درختان کاج نشان داد که بیشترین مقدار منگنز (۲/۶۳ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار با پساب صنعتی بود که با سایرتیمارها تفاوت معنی دار دارند و کمترین مقدار منگنز (۲/۲۸ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار با فاضلاب مشاهده شد (جدول ۱۳). نتایج تیمارها در ابریشم مصری مشخص کرد که بیشترین مقدار منگنز (۲/۱۴ میلی‌گرم در کیلوگرم) مربوط به تیمار با پساب صنعتی بود و کمترین آن‌ها (۲ میلی‌گرم در کیلوگرم) در تیمار با فاضلاب مشاهد شد (جدول ۱۳).

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر میزان منگنز درختان داشته‌اند، در حالی که بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۲). در تمامی گونه‌های مورد بررسی، بالاترین غلظت منگنز در تیمار پساب صنعتی ثبت شد که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری نشان می‌داد. درختان انار در تیمار پساب صنعتی با ۲/۳۴میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز بیشترین مقدار و در تیمار فاضلاب با ۲/۰۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین مقدار این عنصر را دارا بودند (جدول ۱۳). در زیتون نیز این الگو تکرار شد، به طوری که تیمار پساب صنعتی با ۲/۵۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار فاضلاب با ۲/۳۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار گرفت.

نتایج مشابهی در سنجد تلخ مشاهده شد که بیشترین مقدار منگنز (۲/۶۹میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار پساب صنعتی و کمترین مقدار (۲/۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار فاضلاب اندازه‌گیری شد. درختان اکالیپتوس نیز در تیمار پساب صنعتی با ۲/۹۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز بالاترین میزان را نشان دادند که نسبت به تیمار فاضلاب (۲/۹۳میلی‌گرم بر کیلوگرم) تفاوت معنی‌داری داشت. در مورد کاج تهران، تیمار پساب صنعتی با ۲/۶۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز به طور معنی‌داری برتر از تیمار فاضلاب با ۲/۲۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. ابریشم مصری نیز در تیمار پساب صنعتی با ۲/۱۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم منگنز نسبت به تیمار فاضلاب (۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم) برتری معنی‌داری نشان داد (جدول ۱۳).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول۱۳- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان منگنز

Table ۱۳ Comparison of the average effect of different treatments on the amount of manganese

ردیف	تیمارها		منگنز*
۱	انار	پساب صنعتی	۲/۳۴[a]
۲		فاضلاب	۲/۰۱[c]
۳		مخلوط	۲/۲۰[b]
۴	زیتون	پساب صنعتی	۲/۵۷[a]
۵		فاضلاب	۲/۳۲[c]
۶		مخلوط	۲/۴۶[b]
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۲/۶۹[a]
۸		فاضلاب	۲/۴۸[c]
۹		مخلوط	۲/۵۸[b]
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۲/۹۳[a]
۱۱		فاضلاب	۲/۷۳[c]
۱۲		مخلوط	۲/۸۷[b]
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۲/۶۳[a]
۱۴		فاضلاب	۲/۲۸[c]
۱۵		مخلوط	۲/۳۸[b]
۱۶	ابریشم مصری	پساب صنعتی	۲/۱۴[a]
۱۷		فاضلاب	۲/۰۰[c]
۱۸		مخلوط	۲/۰۳[b]

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

عنصر مس

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت مس درختان داشته‌اند، در حالی که بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱۴). در تمامی گونه‌های مورد مطالعه، تیمار پساب صنعتی منجر به بالاترین میزان جذب مس شد که نسبت به سایر تیمارها برتری معنی‌داری نشان داد. درختان انار در تیمار پساب صنعتی با میانگین ۱/۸۳ میلی‌گرم مس در کیلوگرم ماده خشک، به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار فاضلاب با ۱/۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار گرفتند (جدول ۱۵). این روند در زیتون نیز مشاهده شد، به طوری که غلظت مس از ۱/۸۷ میلی‌گرم در تیمار فاضلاب به ۲/۰۶ میلی‌گرم در تیمار پساب صنعتی افزایش یافت. نتایج قابل توجه ای در سنجد تلخ به دست آمد که در آن تیمار پساب صنعتی با ۲/۱۷ میلی‌گرم مس در کیلوگرم، به طور معنی‌داری بالاتر از تیمار فاضلاب با ۲/۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم قرار داشت. درختان اکالیپتوس نیز در تیمار پساب صنعتی با ۲/۴۲ میلی‌گرم مس در کیلوگرم، عملکرد بهتری نسبت به تیمار فاضلاب با ۲/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم نشان دادند. در مورد کاج تهران، تیمار پساب صنعتی با ۲/۱۲ میلی‌گرم مس در کیلوگرم برتری معنی‌داری داشت، در حالی که تیمار آب مخلوط با ۱/۷۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم کمترین میزان جذب را نشان داد. ابریشم مصری در تیمار پساب صنعتی با ۱/۶۲ میلی‌گرم مس در کیلوگرم نسبت به تیمار آب مخلوط با ۱/۵۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم عملکرد بهتری داشت، اگرچه این تفاوت با تیمار فاضلاب معنی‌دار نبود (جدول ۱۵).

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول۱٤- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان عنصر مس

Table 14- Variance analysis of the effect of different treatments on the amount of copper element

		مجموع مربعات					
منابع تغییرات	Df درجه آزادی	انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
	۲	۵.۹۶^{ns}	۶.۰۹^{ns}	۵.۴۷^{ns}	۵.۲۶^{ns}	۶.۳۲^{ns}	۴.۲۱^{ns}
تیمارها	۲	۳.۰۰**	۳.۰۶**	۳.۲۳**	۳.۵۱**	۳.۱۵**	۲.۸۶**
خطا	۶	۰.۹۵	۱.۱۶	۱.۱۷	۲.۶۱	۱.۶۲	۱.۶۱
C.V		۱.۹۶	۲.۰۹	۲.۶۲	۱.۶۱	۴.۰۷	۳.۲۱

^{ns} اختلاف معنی دار وجود ندارد. **معنی دار در سطح احتمال ۱%

^{ns} There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

جدول۱۵- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان مس

Table 15. Comparison of the average effect of different treatments on the amount of copper

ردیف	تیمارها		میزان مس*
۱	انار	پساب صنعتی	۱/۸۳^{a}
۲		فاضلاب	۱/۵۰^{c}
۳		مخلوط	۱/۵۸^{b}
۴	زیتون	پساب صنعتی	۲/۰۶^{a}
۵		فاضلاب	۱/۸۷^{c}
۶		مخلوط	۱/۹۳^{b}
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۲/۱۷^{a}
۸		فاضلاب	۲/۰۶^{c}
۹		مخلوط	۲/۱۳^{b}
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۲/۴۲^{a}
۱۱		فاضلاب	۲/۰۸^{c}
۱۲		مخلوط	۲/۲۳^{b}
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۲/۱۲^{a}
۱۴		فاضلاب	۱/۹۶^{b}
۱۵		مخلوط	۱/۷۴^{c}
۱۶	ابریشم مصری	پساب صنعتی	۱/۶۲^{a}
۱۷		فاضلاب	۱/۵۵^{b}
۱۸		مخلوط	۱/۵۴^{b}

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

عنصر کادمیم

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تیمارهای مختلف تأثیر معنی‌داری در سطح احتمال ۱٪ بر غلظت عنصر کادمیم درختان داشته‌اند، اما بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشده بود (جدول ۱۶). نتایج جدول تجزیه واریانس نشان داد که بین بلوک‌ها در سطح یک درصد اختلاف معنی دار وجود ندارد. بررسی نتایج نشان داد که در همه درختان مورد بررسی شامل انار، زیتون، سنجدتلخ، اکالیپتوس، کاج و ابریشم مصری بیشترین میزان کادمیم(به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۲۰، ۰/۲۱، ۰/۲۳، ۰/۲۰، ۰/۱۵،)

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

مربوط به تیمار این درختان با پساب صنعتی است که با دو نوع تیمار دیگر یعنی فاضلاب و مخلوط دارای تفاوت معنی دار هستند (جدول ۱۷). بررسی تیمارها در همه درختان که شامل انار، زیتون، سنجدتلخ، اکالیپتوس، کاج و ابریشم مصری است نشان داد کمترین مقدار کادمیم (به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۵، ۰/۱۶، ۰/۱۳، ۰/۱۱) مربوط به تیمار این درختان با فاضلاب شهری است (جدول۱۸).

جدول ۱۶- تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان کادمیم

Table 16. Variance analysis of the effect of different treatments on the amount of cadmium

		مجموع مربعات					
منابع تغییرات	Df درجه آزادی	انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
	۲	۱.۵۶^{ns}	۱.۹۸^{ns}	۲.۶۳^{ns}	۲.۹۶^{ns}	۳.۶۹^{ns}	۱.۶۳^{ns}
تیمارها	۲	۱.۲۰**	۱.۴۲**	۱.۶۳**	۱.۹۵**	۱.۵۳**	۰.۸۶**
خطا	۶	۰.۹۵	۰.۰۹	۰.۱۴	۰.۱۲	۰.۲۳	۰.۰۸
c.v	۸	۷.۵۶	۱.۹۶	۲.۳۶	۱.۹۸	۳.۹۶	۱.۹۶

^{ns} اختلاف معنی دار وجود ندارد. **معنی دار در سطح احتمال ۱٪

^{ns} There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

جدول ۱۷- مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان کادمیم

Table ۱۷- Comparison of the average effect of different treatments on the amount of cadmium

ردیف	تیمارها		کادمیم
۱	انار	پساب صنعتی	۰/۱۷ ^{a}
۲		فاضلاب	۰/۱۲ ^{c}
۳		مخلوط	۰/۱۵^{b}
۴	زیتون	پساب صنعتی	۰/۲۰^{a}
۵		فاضلاب	۰/۱۴ ^{c}
۶		مخلوط	۰/۱۷ ^{b}
۷	سنجد تلخ	پساب صنعتی	۰/۲۱^{a}
۸		فاضلاب	۰/۱۵ ^{c}
۹		مخلوط	۰/۱۷ ^{b}
۱۰	اکالیپتوس	پساب صنعتی	۰/۲۳^{a}
۱۱		فاضلاب	۰/۱۶^{c}
۱۲		مخلوط	۰/۱۹^{b}
۱۳	کاج	پساب صنعتی	۰/۲۰^{a}
۱۴		فاضلاب	۰/۱۳^{c}
۱۵		مخلوط	۰/۱۶^{b}
۱۶	ابریشم مصری	پساب صنعتی	۰/۱۵^{a}
۱۷		فاضلاب	۰/۱۱^{c}
۱۸		مخلوط	۰/۱۳ ^{b}

*حروف مختلف نشان دهندهٔ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

عنصر سرب

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارها بر مقدار عنصر سرب درختان در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۱۸)، در حالی که بین بلوک‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی نتایج نشان داد که در درختان انار، بیشترین میزان سرب (۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متعلق به تیمار پساب صنعتی بود که نسبت به سایر تیمارها اختلاف معنی‌داری داشت، در حالی که کمترین مقدار (۰/۲۰میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار فاضلاب ثبت شد (جدول ۱۹). در زیتون، بالاترین غلظت سرب (۰/۲۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نیز مربوط به پساب صنعتی و کمترین میزان (۰/۲۴میلی‌گرم بر کیلوگرم) به فاضلاب اختصاص داشت. در مورد سنجد تلخ، تیمار پساب صنعتی با دارا بودن ۰/۲۸ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم، بیشترین مقدار را نشان داد که از نظر آماری با سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری داشت، در حالی که کمترین مقدار (۰/۲۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم) متعلق به فاضلاب بود. همچنین در اکالیپتوس، بیشترین غلظت سرب (۰/۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار پساب صنعتی مشاهده شد که نسبت به سایر تیمارها برتری آماری داشت، در حالی که کمترین مقدار (۰/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار فاضلاب ثبت شئ. در کاج، تیمار پساب صنعتی با ۰/۲۷ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم بیشترین مقدار را به خود اختصاص داد که از نظر آماری با تیمار مخلوط تفاوت معنی‌داری نداشت، اما کمترین میزان (۰/۲۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در فاضلاب مشاهده شد. در نهایت، ابریشم مصری در تیمار پساب صنعتی با ۰/۲۱ میلی‌گرم سرب بر کیلوگرم به حداکثر غلظت رسید، در حالی که کمترین مقدار (۰/۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار فاضلاب به‌دست آمد (جدول ۱۹).

جدول ۱۸-تجزیه واریانس تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان سرب

Table ۱۸ Analysis of variance of the effect of different treatments on the amount of lead

منابع تغییرات	Df درجه آزادی	مجموع مربعات					
		انار	زیتون	سنجد تلخ	اکالیپتوس	کاج	ابریشم مصری
تیمارها	۲	۱.۳۴**	۱.۷۴**	۱.۹۶**	۲.۰۲**	۲.۲۴**	۱.۰۲**
خطا	۶	۱.۱۲	۰.۱۶	۰.۱۹	۰.۳۲	۰.۹۶	۰.۲۱
c.v	۸	۱۱.۱۲	۳.۶۹	۷.۱۷	۳۳۶	۸.۵۲	۵.۲۵

**معنی دار در سطح احتمال ۱٪

ns There is no significant difference. **Significant at the 1% probability level

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

جدول ۱۹-مقایسه میانگین تاثیر تیمارهای مختلف بر میزان سرب

Table ۱۹-Comparison of the average effect of different treatments on the amount of lead

ردیف	تیمارها		سرب
۱	انار	پساب شیمیایی	۰/۲۴^{a}
۲		فاضلاب	۰/۲۰^{c}
۳		مخلوط	۰/۲۲^{b}
۴	زیتون	پساب شیمیایی	۰/۲۷^{a}
۵		فاضلاب	۰/۲۴^{c}
۶		مخلوط	۰/۲۵^{b}
۷	سنجد تلخ	پساب شیمیایی	۰/۲۸^{a}
۸		فاضلاب	۰/۲۴^{c}
۹		مخلوط	۰/۲۵b
۱۰	اکالیپتوس	پساب شیمیایی	۰/۳۱^{a}
۱۱		فاضلاب	۰/۲۶^{c}
۱۲		مخلوط	۰/۲۹^{b}
۱۳	کاج	پساب شیمیایی	۰/۲۷^{a}
۱۴		فاضلاب	۰/۲۶^{b}
۱۵		مخلوط	۰/۲۷^{a}
۱۶	ابریشم مصری	پساب شیمیایی	۰/۲۱^{a}
۱۷		فاضلاب	۰/۱^{c}
۱۸		مخلوط	۰/۲۰^{ab}

*حروف مختلف نشان دهندۀ اختلاف معنی دار در سطح یک درصد است.

*Different letters indicate significant differences at the one percent level.

بحث

صفات مورفولوژیکی

تیمارهای آبیاری، از ارتفاع بیشتری برخوردار بودند و این تفاوت از نظر آماری معنی‌دار بود ($p<0.05$). در مقابل، نتایج مربوط به اندازه‌گیری‌های قطر تنه درختان انار حاکی از آن بود که سه تیمار آبیاری مختلف تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشته‌اند ($p<0.01$). این نتایج از لحاظ شاخص ارتفاع با یافته‌های تحقیق خیرالدین (۱۳۹۳) که بر روی درختان انار آبیاری شده با فاضلاب شهری در منطقه سمنان انجام شده بود، مطابقت داشت. اما در مورد صفت قطر تنه، نتایج این دو مطالعه ناهمخوان بود، چرا که در پژوهش خیرالدین مشخص شده بود که آبیاری با فاضلاب شهری موجب افزایش قطر تنه درختان انار می‌شود. این اختلاف ممکن است ناشی از تفاوت در ترکیبات موجود در پساب صنعتی مورد استفاده در این مطالعه و همچنین تفاوت در ارقام انار مورد بررسی در دو تحقیق باشد. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که آبیاری با فاضلاب شهری موجب افزایش معنی‌دار ($p<0.05$) گسترش تاج پوشش درختان انار شده است که این تفاوت در مقایسه با سایر تیمارهای آبیاری کاملاً مشهود بود. این پدیده احتمالاً به دلیل وجود مواد مغذی فراوان در فاضلاب شهری است که منجر به بهبود شرایط حاصلخیزی خاک و در نتیجه رشد بهتر گیاهان می‌گردد. این یافته با بسیاری از تحقیقات انجام شده در زمینه استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در آبیاری که

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

نشان‌دهنده تأثیر مثبت آن بر رشد گیاهان هستند، همخوانی دارد.

بر اساس یافته‌های این تحقیق، آبیاری درختان زیتون با فاضلاب تصفیه‌شده شهری منجر به افزایش معنی‌دار در شاخص‌های ارتفاع و قطر تنه درختان شد. این نتایج با گزارش‌های Al-Lahham و همکاران (۲۰۲۳) در مورد اثرات مثبت آبیاری با فاضلاب بر رشد درختان زیتون همخوانی دارد. نتایج آنالیز شیمیایی فاضلاب شهری مورد استفاده در این پژوهش نشان داد که این منبع آبی حاوی مقادیر قابل توجهی از عناصر ماکرو (نیتروژن، فسفر، کلسیم، منیزیم و گوگرد) و عناصر میکرو (آهن و روی) است. با توجه به محدودیت دسترسی به عناصر میکرو در خاک‌های منطقه، استفاده از این فاضلاب تأثیر بسزایی در بهبود رشد گیاهان داشت. این یافته‌ها مؤید مزایای آبیاری با فاضلاب شهری به دلیل غنای عناصر مغذی است (Hussain et al., 2022). فاضلاب شهری تصفیه‌شده علاوه بر نقش مؤثر در صرفه‌جویی منابع آبی، به عنوان منبع ارزشمندی برای تأمین مواد مغذی مورد نیاز گیاهان محسوب می‌شود (Silva, 2023). در این مطالعه، درختان زیتون آبیاری‌شده با فاضلاب شهری افزایش معنی‌داری ($p<0.01$)در گسترش تاج پوشش نشان دادند که با نتایج تحقیق آقابراتی و همکاران (۱۳۸۶) مطابقت دارد .این تأثیرات مثبت احتمالاً ناشی از وجود مقادیر قابل توجه فسفر، نیتروژن و پتاسیم در ترکیب فاضلاب شهری است که ضمن بهبود حاصلخیزی بستر کشت، جذب سریع این عناصر توسط گیاه را ممکن ساخته و شرایط مطلوبی برای رشد گیاهان فراهم می‌کند. این مکانیسم می‌تواند توجیه‌کننده بهبود شاخص‌های رشدی در درختان زیتون تحت این تیمار باشد.

آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری باعث افزایش ارتفاع اکالیپتوس به صورت معنی‌دار شد، که داده‌ها با نتایج تحقیق پیسکاک و همکاران بر روی اکالیپتوس مطابقت داشت، که عنوان کردند آبیاری درختان اکالیپتوس با فاضلاب شهری بر رشد این درختان تأثیر چشمگیری داشته‌است (Minhas et al., 2015). به دلیل وجود عناصر ماکرو و میکرو در فاضلاب، این عناصر بر رشد گیاه تأثیر فزاینده دارند و با توجه به اینکه اکالیپتوس دارای سیستم ریشه‌ای توسعه یافته است و می‌تواند آب و مواد غذایی را به آسانی جذب کند و در نتیجه رشد بیشتری خواهد داشت. تجزیه و تحلیل صفت ارتفاع بوته در گیاهان مورد بررسی توسط دلنواز (۲۰۱۷) نشان می‌دهد آبیاری با فاضلاب تصفیه شده شهری تأثیر معنی‌دارافزایشی بر ارتفاع بوته‌های مورد مطالعه داشت (Delnavaz, 2017). نتایج پژوهش حاضر مشخص کرد که هر سه نوع تیمار بر گستردگی تاج درخت اکالیپتوس تأثیر معنی دار ندارد. در پژوهشی نشان داده شد که آبیاری درختان با فاضلاب شهری موجب افزایش کنوپی درخت اکالیپتوس در مقایسه با نمونه های تیمار شده با سایر منابع آبی شده‌است که با نتیجه حاصل از این پژوهش مطابقت نداشت (Salem et al., 2023).

تحقیق حاضر نشان داد که آبیاری با فاضلاب شهری منجر به افزایش ارتفاع در درختان کاج به صورت معنی‌دار شد، که با نتایج به دست آمده از پژوهش صالحی و همکاران بر روی کاج انطباق داشت، صالحی و همکاران نشان دادند که افزایش ارتفاع درختان کاج به طور معنی داری در تیمار درختان آبیاری شده با فاضلاب شهری بیشتر از درختان آبیاری شده با آب معمولی است. همچنین این پژوهش نشان داد که افزایش قطر تنه درختان کاج آبیاری شده با پساب صنعتی بیشتر از سایر تیمارها بوده است که با نتایج ملی و رامیرزفوئنتز و همکاران مطابق نبود، زیرا آنها بیان کردند آبیاری درختان کاج با فاضلاب شهری به دلیل بالابودن غلظت عناصر غذایی موجود در آب موجب افزایش قطر تنه این گیاه در مقایسه با سایر تیمارها می‌شود (Serbula et al., 2013). احتمالاً عدم یکسان بودن نتایج، به علت تفاوت در نوع تصفیه پساب صنعتی و مواد شمیایی حاصل از تولید این واحد صنعتی باشد. کاج‌های تیمارشده با فاضلاب تصفیه شده شهری در مقایسه با سایر تیمارها افزایش تاج گستر را در پی دارد که با نتایج تحقیق صالحی و همکاران روی کاج، در شرایط مشابه این تحقیق، مطابقت داشت. گمان می رود در دسترس بودن مواد مغذی که از طریق آبیاری با فاضلاب شهری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد، و تأثیر مثبت تغذیه بر فرایند فیزیولوژیک گیاه، تاج پوشش گیاه گسترده تر می شود (Rahmani et al., 2023).

یافته‌های تحقیق حاضر حاکی از آن است که آبیاری گیاهان مورد مطالعه با فاضلاب شهری منجر به افزایش معنی‌دار ارتفاع آن‌ها در مقایسه با سایر تیمارهای آبیاری شده است. به نظر می‌رسد مکانیسم اصلی این بهبود رشد مربوط به وجود ترکیبات مغذی در فاضلاب شهری باشد که از طریق تحریک توسعه سیستم ریشه‌ای و تسهیل جذب عناصر غذایی، موجب تغییرات مثبت در فیزیولوژی گیاه شده است. این مواد مغذی با تنظیم و تشدید واکنش‌های متابولیکی گیاه، نهایتاً منجر به تسریع رشد گیاه می‌شوند. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که در بسیاری از گونه‌های گیاهی، تاج پوشش در نمونه‌های آبیاری شده با فاضلاب

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

به‌طور قابل توجهی گسترده‌تر از گیاهان آبیاری شده با سایر منابع آبی بوده است. این یافته با نتایج حاصل از پژوهش حاضر بر روی گونه‌های مختلف از جمله انار، زیتون، سنجد تلخ، کاج و ابریشم مصری همسویی کامل دارد، هرچند در مورد گونه اکالیپتوس این الگو مشاهده نشده است. شواهد این پژوهش همچنین بیانگر آن است که آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده شهری موجب افزایش معنی‌دار در هر دو شاخص ارتفاع و گسترش تاج در گونه‌های سنجد تلخ و ابریشم مصری شده است. بررسی منابع علمی موجود نشان داد که تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تأثیر آبیاری با فاضلاب شهری بر این دو گونه گیاهی خاص انجام نشده است، که این موضوع یافته‌های حاضر را از جنبه نوآوری حائز اهمیت می‌سازد.

صفات فیزیولوژیکی (اندازه گیری عناصر)

آهن

بر اساس نتایج تحقیق حاضر مشخص شد که آبیاری درخت اکالیپتوس با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار مقدار آهن شد. این یافته با نتایج قضاوی و ارست (۱۳۹۵) که گزارش کردند آبیاری با پساب موجب افزایش معنی‌دار عناصر سنگین از جمله آهن در اندام هوایی گیاه می‌شود، همخوانی دارد. آنالیز پساب صنعتی مورد استفاده نشان داد که این پساب حاوی عناصر کم مصرف مانند آهن بوده و با توجه به پایین بودن فراهمی این عنصر در خاک مورد مطالعه، استفاده از پساب صنعتی موجب افزایش فراهمی آهن برای گیاه و در نتیجه افزایش غلظت آن در اندام هوایی گردید. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار مقدار آهن در زیتون شد که با یافته‌های زارع و همکاران (Zare mirakabad et al., 2017) مطابقت داشت. همچنین در سایر گیاهان مورد بررسی شامل سنجدتلخ، کاج و ابریشم مصری، مقدار آهن در تیمار آبیاری با پساب صنعتی به طور معنی‌داری بیشتر از دو تیمار دیگر بود. این نتایج با توجه به موقعیت مکانی تحقیق (منطقه صنعتی فولاد) قابل انتظار بود. اگرچه آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان است و کمبود آن موجب کاهش ساخت کلروفیل و اختلال در رشد رویشی می‌شود، اما باید توجه داشت که وجود این عنصر و دیگر عناصر سنگین در پساب می‌تواند به عنوان یک منبع بالقوه آلودگی زیست محیطی در نظر گرفته شود. با این حال، زمانی که غلظت این عناصر در حد استاندارد باشد، استفاده از این پساب می‌تواند به عنوان یک کود محلول مفید برای گیاهان عمل کند.

روی

آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار غلظت روی در گیاه زیتون شد که با یافته‌های وصالی و زهتابیان (۲۰۲۲) همخوانی دارد(Vasali and Zahtabian, 2022) . همچنین در درختان اکالیپتوس آبیاری شده با پساب صنعتی، افزایش محتوای روی مشاهده گردید که با نتایج قضاوی و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت نشان داد. بررسی‌ها حاکی از آن است که پساب صنعتی حاوی عناصر کم مصرف از جمله روی می‌باشد. اگرچه حضور این عناصر در پساب ممکن است در نگاه اول به عنوان عامل آلاینده تلقی شود، اما در غلظت‌های کنترل شده می‌تواند نقش کود محلول را ایفا نماید؛ با این حال باید توجه داشت که روی از جمله عناصر پرتحرک محسوب شده و تجمع آن بیش از حد مجاز می‌تواند اثرات نامطلوبی به همراه داشته باشد. روی به عنوان یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان، تأثیرات قابل توجهی بر فرآیندهای فیزیولوژیکی دارد. این عنصر نقش کلیدی در فتوسنتز ایفا می‌کند و بر میزان کلروفیل و هدایت روزنه‌ای برگ‌ها تأثیر می‌گذارد (احمدپور، ۱۳۹۶). همچنین، روی موجب به تأخیر افتادن فرآیند پیری برگ‌ها شده و از این طریق باعث افزایش طول عمر و کارایی برگها می‌گردد که نهایتاً بر عملکرد کلی گیاه تأثیر مثبت میگذارد.

منگنز

نتایج پژوهش نشان داد که آبیاری درختان انار با پساب صنعتی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت منگنز شد که با یافته‌های معتمدی و همکاران (۱۳۹۸) همسو بود. نکته حائز اهمیت آن‌که غلظت منگنز اندازه‌گیری شده در تمامی نمونه‌ها پایین‌تر از حد بحرانی بود که نشان‌دهنده میزان کم این عنصر در پساب صنعتی مورد مطالعه می‌باشد. در مورد درختان اکالیپتوس نیز، آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار منگنز گردید که با نتایج تحقیقات دوکوتا و همکاران (Devkota et al., 2019) مطابقت داشت. منگنز به عنوان یکی از عناصر کم‌مصرف اما ضروری، نقش کلیدی در فرآیند کلروفیل‌سازی ایفا می‌کند. این موضوع

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

می‌تواند توجیهی برای مشاهده رشد مطلوب تاج درختان اکالیپتوس در تمامی تیمارهای آبیاری باشد. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها در مورد درختان کاج نشان داد که غلظت منگنز در تیمار پساب صنعتی به طور معنی‌داری بیشتر از دو تیمار دیگر بود که با گزارش‌های الهوکایل (Al-Huqail et al., 2023) همخوانی داشت. اگرچه در سایر گونه‌های گیاهی مورد بررسی نیز افزایش منگنز در تیمار پساب صنعتی مشاهده شد، اما در هیچ موردی از حد مجاز برای گیاهان فراتر نرفت که از جنبه زیست‌محیطی حائز اهمیت فراوان است. نکته قابل تأمل، وجود همبستگی مثبت بین غلظت‌های منگنز و روی در نمونه‌های گیاهی بود. تحقیقات نشان می‌دهد که حضور متعادل این دو عنصر در صورتی که از حد استاندارد تجاوز نکند، میتواند تأثیر سینرژیک در بهبود عملکرد گیاهان داشته باشد. این یافته اهمیت مدیریت دقیق کیفیت پساب‌های صنعتی را در کاربردهای کشاورزی بیش از پیش آشکار می‌سازد.

مس

نتایج این پژوهش نشان داد که آبیاری درختان انار با پساب صنعتی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت مس نسبت به سایر تیمارها شد که با یافته‌های دیندارلو و همکاران (۱۳۹۵) همخوانی دارد. این افزایش می‌تواند ناشی از دو عامل باشد: حضور مس در ترکیب پساب صنعتی مورد استفاده و تجمع تدریجی این عنصر در خاک بستر کشت که به عنوان منبع اولیه جذب توسط ریشه گیاهان عمل می‌کند. در مورد درختان زیتون نیز، آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار مس در بافت‌های گیاهی شد. اگرچه غلظت اندازه‌گیری شده در تمامی نمونه‌ها پایین‌تر از حد بحرانی بود، اما این موضوع نشاندهنده توانایی گیاهان در ذخیره‌سازی این عنصر در اندام‌های خود می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها در سایر گونه‌های گیاهی مورد مطالعه شامل سنجد تلخ، اکالیپتوس، کاج و ابریشم مصری نیز نشان داد که غلظت مس در تیمار پساب صنعتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو تیمار دیگر بود. مس به عنوان یکی از عناصر کم‌مصرف ضروری، نقش‌های متعددی در متابولیسم گیاه ایفا می‌کند که از آن جمله می توان به مواردی مانند شرکت در فعالیت آنزیم های کلیدی، مشارکت در سنتز کلروفیل، نقش در فرآیند فتوسنتز، تأثیر بر متابولیسم کربوهیدراتها و پروتئینها و افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش‌های محیطی اشاره کرد. همانطور که رحمانی (۱۳۸۷) اشاره کرده است، وجود مقدار متعادل این عنصر برای عملکرد مطلوب گیاهان ضروری بوده و کمبود یا بیش بود آن میتواند اختلالات فیزیولوژیک ایجاد نماید. این یافته ها اهمیت نظارت دقیق بر غلظت عناصر کم مصرف در پسابهای صنعتی را قبل از استفاده در آبیاری نشان می دهد.

کادمیم

بیشترین میزان عنصر کادمیم در گیاه زیتون در تیمار با پساب صنعتی مشاهده شد که با سایرین اختلاف معنی‌دار داشت که با یافته‌های پژوهش بهبهانی نیا در سال ۱۳۹۰ هم‌خوانی دارد. شور بودن پساب که در زمان طولانی موجب شوری خاک می‌گردد و همچنین شوری اولیه خاک موجب تبادل سدیم موجود با کادمیم شده که نهایتا توسط گیاه جذب گردیده است.

در پژوهش حاضر افزایش مقدار کادمیم در اکالیپتوس آبیاری شده با پساب صنعتی مشاهده شد که با تیمارهای دیگر تفاوت معنی داری داشت و با نتایج قضاوی و همکاران (۱۳۹۵) مطابق است. نتایج، افزایش میزان کادمیم را در تیمار با پساب صنعتی در گیاهان مورد بررسی به همراه داشت، اگرچه مقادیرآن در سنجش از حد بحرانی کمتر بود اما با توجه به اینکه کادمیم از فلزات سنگینی است که منجر به تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌شود که سبب کاهش رشد و هدایت هیدرولیکی آب در ریشه، تداخل جذب با عناصر غذایی، کاهش میزان کلروفیل، کلروز برگ و اختلال در فعالیت‌های آنزیمی به ویژه آنزیم‌های دخیل در فتوسنتز می‌گردد، در مقادیر بسیار کم نیز برای گیاه توصیه نمی‌شود (Millaleo et al., 2024; Kovacs et al.,2016).

سرب

نتایج این پژوهش نشان داد که آبیاری درختان انار با پساب صنعتی منجر به افزایش معنی‌دار غلظت سرب در بافت‌های گیاهی می‌شود. این یافته با نتایج قضاوی و همکاران (۱۳۹۵) همخوانی دارد. اگرچه سرب در نمونه‌های گیاهی شناسایی شد، اما غلظت آن از حد مجاز تعیین شده فراتر نرفت. این موضوع ممکن است نشان‌دهنده عدم ارتباط مستقیم بین غلظت سرب در آب آبیاری و خاک با میزان جذب آن توسط گیاهان باشد. در مورد درختان زیتون نیز مشاهده شد که آبیاری با پساب صنعتی موجب افزایش معنی‌دار سرب نسبت به سایر تیمارها می‌شود که با نتایج اشرفی و همکاران مطابقت دارد (Ashrafi et al., 2013). تجزیه و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

تحلیل آماری داده‌های مربوط به درختان کاج نیز نشان داد که غلظت سرب در تیمار پساب صنعتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از دو تیمار دیگر است که با گزارش‌های هیین (۲۰۱۶) همسو می‌باشد. سرب به عنوان یکی از عناصر غیرضروری و سمی برای گیاهان شناخته می‌شود. خوشبختانه در این پژوهش، غلظت سرب در تمامی نمونه‌ها کمتر از حد سمیت بود که می‌تواند ناشی از ویژگیهای فیزیکوشیمیایی خاک (بافت خاک و محتوای مواد آلی)، میزان تجمع تاریخی سرب در خاک منطقه و غلظت نسبتاً پایین سرب در پساب صنعتی مورد استفاده باشد. با این حال باید توجه داشت که سرب از جمله عناصر کم تحرک است که توانایی تجمع تدریجی در خاک و بافت‌های گیاهی را دارد. مطالعات نشان می‌دهند که این عنصر می‌تواند اثرات نامطلوبی بر گیاهان داشته باشد، از جملهٔ این موارد می‌توان به کاهش سرعت جوانه‌زنی، اختلال در فرآیند فتوسنتز، ایجاد تداخل در جذب عناصر غذایی ضروری و مهار فعالیت آنزیم‌های کلیدی اشاره کرد (Heynen et al., 2016). این یافته‌ها اهمیت پایش مستمر غلظت عناصر سنگین مانند سرب را در برنامه‌های استفاده از پساب‌های صنعتی در آبیاری فضای سبز نشان می‌دهد. اگرچه در شرایط حاضر غلظت سرب از حد بحرانی پایین‌تر است، اما ماهیت تجمع‌پذیر این عنصر، لزوم توجه به اثرات بلندمدت آن را ضروری می‌سازد.

نتیجه‌گیری:

نتایج نشان داد، درصد سبزشدگی، درصد گلدهی، درصد استقرار ، ارتفاع گیاه و تعداد چتر به طور چشم‌گیری در غده‌های بزرگ بیشتر از غده‌های متوسط می‌باشد و حتی اعمال کود نیز تأثیر چندانی بر بهبود موارد ذکر شده در غده متوسط نداشته است. در حالیکه در غده‌های بزرگ درصد استقرار و تلفات، ارتفاع بوته و تعداد چتر در غلظت های بالاتر کود NPK نسبت به گیاهان شاهد افزایش معنی دار دارد. بطور کلی می‌توان بیان کرد به علت نقش مواد مغذی موجود در کود از قبیل ازت، فسفر و پتاسیم در تنظیم آنزیم‌های کلیدی، پروتئین‌سازی، سنتز کلروفیل و همچنین فعال‌سازی بیان ژن‌های مربوط به رشد ریشه و سنتز کلروفیل، اعمال تیمار تغذیه‌ای (کود NPK) موجب تأثیر مثبت بر رشد گیاه گردید. در نتیجه موجب افزایش رشد و عمل فتوسنتز و به دنبال آن بهبود اجزای عملکرد شد و خصوصیات رشد و اجزای عملکرد گیاه زیره سیاه را بطور معنی داری تحت تأثیر قرار داد. همچنین ذخایر غذایی در غده‌های درشت‌تر بیشتر بود و حجم بیشتری از مواد را برای جوانه‌های رویشی فراهم می‌کند که موجب تسریع ظهور برگ‌ها و بهبود رشد و افزایش اجزای عملکرد می‌گردد.

در نتیجه، مصرف کود و تقویت خاک و همچنین استفاده از غده‌های بزرگتر با سن بیشتر، می‌تواند در رشد بهتر و بهبود اجزای عملکرد این گیاه دارویی ارزشمند نقش موثری داشته باشد. البته این نکته را باید در نظر داشت که انتخاب غده‌های بزرگ برای کاشت، ممکن است به علت ورود به مرحله پیری، موجب کاهش رشد و عملکرد گردد.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه اردکان انجام شد.

حمایت مالی از این پژوهش از طرف دانشگاه اردکان، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی در قالب پژوهانهٔ پایان‌نامه دانشجویی نویسنده اول و همچنین پژوهانهٔ برای سایر نویسندگان انجام شده است.

از داوران محترم به خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

References

Aghabarati, A., Hosseini, S. M., Esmaili, A., Bahramifar, N., Maralian, H. 2008. 'Effects of application municipal effluent on heavy metal (Cr and Ni) accumulation in Olea europaea L. trees and soil', *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 16(2), pp. 313-304.

Ahmadpour, A.,Farhadi Bansouleh, B., Ghobadi, M. 2016. Effects of deficit irrigation on growth trend, quantity and quality characteristics of maize in Kermanshah. Journal of water and soil resources protection, 6(3): 99-112.

Al-Huqail, A.A., Ali, E.F., Alqarawi, A.A. 2023. Industrial wastewater irrigation increases manganese uptake and oxidative stress in Pinus halepensis: Implications for phytoremediation potential. Ecotoxicology and Environmental Safety, 262, 115192.

Alizadeh, M., Moghaddam, S.S., Rahimi, A. 2023. Industrial wastewater irrigation effects on nutrient and heavy metal contents in pomegranate (Punica granatum L.) fruit and soil. Scientia Horticulturae, 321, 112289.

Al-Lahham, O., El Assi, N.M., Fayyad, M.K. 2023**.** Impact of treated wastewater irrigation on olive tree growth and soil properties under arid conditions. Agricultural Water Management, 286, 108408.

Alves Filho, E.G., Alexandre e Silva, L.M., Ferreira, A.G. 2014. Advancements in waste water characterization through NMR spectroscopy.

Amiri, M.J., Eslamian, S., Malekian, A. 2022. *Sustainable green space development in arid urban areas using treated wastewater: Case study of Yazd Province, Iran.* Journal of Arid Land, 14(3), 287-301.

Ansari, M.F., D.R. Tipre, and S.R. Dave. 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid bio-fertilizers for growth of Cicer aeritinum (chick pea) input and field study. Journal of Agriculture Science and Technology. 4(1): 17-24.

Ashrafi, N., Nikbakht, A., Gheysari, M., Etemadi, N., fernandezescobar, R. 2013. 'Response of Olive Trees to Application of Recycled Water with Subsurface and Surface Irrigation Systems', Journal of Water Research in Agriculture, 27(3), pp. 329-336.

Bahri, A. 1999. Water Woes. e International Water ManagementInstitute (IWMI) in Accra, Ghana. 1:30-39.

Dashady, M., P. Pezeshkpour, A.A. Moezi, M. Shahverdi, and M.H. Koushki. 2005. Effect of different levels of phosphorus and zinc on agronomic characteristics of two dried peas (Arman and LC483). Abstract Book of the First National Bean Conference. P. 17.

Dehghani Firouzabadi, O., Zarei Mahmoudabadi, H., and Ihrampoush, M, H. 2017. Study of the reuse of industrial estate wastewater for agricultural and irrigation purposes (case study: Jahanabad Industrial Estate Treatment Plant, Meybod). Tolooebehdasht.16(3): 46-55.

Delnavaz M. 2017. Application of Mathematical Models for Determination of Microorganisms Growth Rate Kinetic Coefficients for Wastewater Treatment Plant Evaluation. jehe 4 (3) :268-257.

Devkota, k., Raj Neupane, K., Khatri, D.B. 2019. Water conflicts in urbanizing regions in the Himalaya: Case studies from Dhulikhel and Bidur in Nepal. Journal of Social Science and Public Policy, 5(1): 1-25.

Dindarlou, A., Hedayat, M., Hosseini, A. 2016. 'Evaluation of Absorption of Cd, Zn, Pb, Ni, Fe, and Cu Present in Hospital Wastewater by Phytoremediation Using Vetiver Grass', Journal of Water and Wastewater; Ab va Fazilab (in persian), 27(1), pp. 57-66.

Gamito, S., Gilabert, J., Marcos, C., and Pérez-Ruzafa, A. 2005. Effects of changing environmental conditions on lagoon ecology, in Coastal Lagoons: Ecosystem Processes and Modeling for Sustainable Use and Development, eds I. E. Gönenç and J. P. Wolflin (Boca Ratón, FL: CRC Press), 193–229.

Ghaniyan, M. T., and Ahram Posh, M.H., and Kargar, M.H. 2012, Investigating the performance of Hazrat Waliasr Bafaq Hospital's wastewater treatment plant and the possibility of reuse of wastewater for agriculture, 6th National Conference on Environmental Health, Sari.

Ghazavi, r., Arest, M. 2016. Investigation the Effect of Irrigation With Municipal Waste Water on Accumulation of Some Pollutants And Chemicals Elements in Plant And Its Effect on their Ecological Characteristics (A Case Study: Eucalyptus Globulus). Journal of Plant Ecosystem Conservation, 4 (8) :13-29.

Heynen, N. 2016. Urban political ecology. International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology, pp.1-9..

Hussain, M.I., Muscolo, A., & Farooq, M. 2022. Urban wastewater as a sustainable alternative nutrient source for agricultural production: Evidence from arid regions. Science of The Total Environment, 803, 150011.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]

Khairuddin, H. 2013. the effect of irrigation with wastewater on the soil and growth of pomegranate trees in the desert areas of Semnan, the second national desert conference with the management approach of dry and desert areas, Semnan.

Khoshrosh, M., Erfanian, F., and Pourgholam Amiji, M. ۲۰۲۱. The effect of irrigation with treated magnetic wastewater on yield and yield components of corn. Water Management in Agriculture, ۸(۱), ۱۲۸-۱۱۵.

Khosravi, M., Dehghani, M., Mokhtari, M.H. 2020. Groundwater depletion and agricultural adaptation strategies in Ardakan-Yazd. Journal of Arid Environments, 180, 104203.

Millaleo, R., Reyes-Díaz, M., Alberdi, M. 2023. Manganese toxicity: Molecular, physiological and metabolic insights in plant adaptation and phytoremediation strategies. Plant Physiology and Biochemistry, 194, 1-15.

Minhas, P. S., Yadav, R. K., Lal, K., and Chaturvedi, R. K. 2015. Effect of long-term irrigation with wastewater on growth, biomass production and water use by Eucalyptus (Eucalyptus tereticornis Sm.) planted at variable stocking density. Agricultural Water Management, 152, 151-160.

Montiel, M.L., Tyagi, R.D., Valero, G.R., Surampalli, R.Y. 2003. Production of biopesticides using wastewater sludge as a raw material - Effect of process parameters. Water Science & Technology 48(8):239-46.

Motamedi, M., Behbahaninia, A., Farsad, F. (2019). A comparative approach to investigate heavy metals pollution in water and sediment of rivers (case study: Shahrud river)', Environmental Sciences, 17(1): 155-174.

Rahimi, G., Omaraee, L., Kimyaee talab, A. 2014. The Effect of Applied Wastewater on Soil Chemical Characteristics and Productivity of Radish (Raphanus Sativus) Plant. Plant Production Technology, *6*(1), 81-95.

Rahimi, T., Hasanpour darvishi, H., Nooralvandi, T., Mozafari, H. 2013. 'The Effect of drought stress on morphological characteristics of Iranian chamomile landraces under drain wastewater', Crop Production in Environmental Stress, 5(1), pp. 47-55.

Rahmani, H.R. 2008, investigating the concentration of heavy elements copper, manganese, zinc and iron in wheat plants under irrigation with industrial wastewater effluent, the third national congress of recycling and use of renewable organic resources in agriculture, Isfahan.

Rahmani, M., Vasali, S.A., Farahani, E. 2023. Nutrient-mediated canopy development in Eucalyptus camaldulensis under wastewater irrigation: A mechanistic approach. Agricultural Water Management, 278, 108167.

Rezaei, H, and Saadat, S. ۲۰۱۸. Wastewater Use in Agriculture: Opportunities, Challenges and Solutions. Land Management, ٦(۲), .۲۳۱-۲۱۳

Sadeghi, M., and Ahmadi Nadushan, M. 2021. Soil nitrogen modeling using remote sensing and regression and random forest models. Soil and Water Resources Conservation, 11(2), 97-111.

Salehi, A., Tabari, M., Mohammadi, J., Aliarb, A. 2008. 'Effect of irrigation with municipal effluent on soil and growth of Pinus eldarica Medw. trees', Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 16(2), pp. 196-186.

Salem, H.M., Abdel-Salam, A.A., Abdel-Salam, M.A. 2023. Contrasting effects of wastewater irrigation on Eucalyptus canopy development in arid and semi-arid regions. Agricultural Water Management, 289, 108542.

Serbula S.M., Klinovic, T.S., Ilic, A.A., Kalinovic, J.V., Steharnik, M.M. 2013. Assessment of Airborne Heavy Metal Pollution Using Pinus spp.and Tilia spp. Aerosol and Air Quality Research13: 563–573.

Silva, J. A. 2023. Wastewater treatment and reuse for sustainable water resources management: a systematic literature review. Sustainability, 15(14), 10940.

Tarabian, Y., and Ali Ahmad Karori, S., and Adeli Pish Bijari, A., and Fallah Chai, M. 2009. Quantitative and qualitative investigation of peroxidase and amylase enzymes of juniper tree (*Juniperrus excelsa*) seeds and branches according to the quality grade of rootstocks in Khorasan Razavi habitat (case study of Hezar Masjid and Binaloud). Biological Sciences, 3(3 (series 10)), 19-27.

Vasali, S. A., Zahtabian, G., Babaei, H. 2017, wastewater, its importance and application in agriculture and green spaces, the third conference.

Vasali, S.A., Zahtabian, G. 2022. Zinc hyperaccumulation in drought-tolerant crops: Case study of olive orchards receiving tannery wastewater in central Iran. Journal of Hazardous Materials, 424(Pt B), 127463.

Zahtabian, G., Azarnivand, H., Khosravi, H. 2018. Assessment of drought severity and its impact on vegetation cover in arid regions: A case study of Ardakan, Iran. Desert Management Journal, 5(2), 45-60.

Zare mirakabad, R. 2017. 'Effect of treated wastewater irrigation on some physiological characteristics and nutrition of pinto bean', *Water and Irrigation Management*, 7(1), pp. 43-58.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.22034/NBR.12.3.2]