گل و گیاهان زینتی (۱۴۰۴)، ۱۰(۱): ۱۵۱-۱۶۱
مقاله پژوهشی

اثر آبیاری با پساب تصفیه شده و محلول پاشی کود آهن بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک شمعدانی رقم Horizon Red

مهدی فیض اله زاده، محبوبه ناصری*، احمد احمدیان

گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربت حیدریه، تربت حیدریه
m.naseri@torbath.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۲/۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۶

چکیده

محدودیت منابع آب توجه پژوهشگران را به استفاده اساسی از آب‌های نامتعارف مانند آب‌های شور و پساب‌های شهری و صنعتی به خود معطوف نموده است. با توجه به ارزش بالای آب شیرین سالم، استفاده دوباره از پساب یک گزینه کارآمد برای مدیریت مصرف آب است. به منظور بررسی‌تأثیر آبیاری با پساب تصفیه‌شده و محلول‌پاشی با کود آهن بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیک شمعدانی، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار در گلخانه‌ای شخصی واقع در مشهد در سال ۱۴۰۰ انجام شد. فاکتور اول شامل دو نوع منبع آبیاری (آب چاه و آبیاری با پساب فاضلاب شهری تصفیه‌شده) بود و فاکتور دوم به محلول‌پاشی با کود آهن مربوط می‌شد، که در سه سطح صفر، ۳ و ۶ گرم در لیتر (به صورت کلات آهن و نانو کلات آهن) بود. نتایج نشان داد که اثر کود و نوع آب آبیاری بر صفات مورد ارزیابی به جز صفت آنتوسیانین در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین اثر کود و آبیاری بر صفات نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد شاخه جانبی، وزن خشک، پرولین و کاروتنوئید در کود نانو کلات آهن و آبیاری با پساب بود. استفاده از نانو کلات آهن، ۲۳٪ وزن خشک گیاه را نسبت به استفاده از کلات آهن در آبیاری با پساب، افزایش داد. آبیاری با آب معمولی و مصرف کود کلات آهن در مرتبه بعد قرار گرفت. نتایج بررسی انجام شده نشان داد که پساب شهری برخلاف تنش آبی، نه تنها تأثیر مخرب بر رشد و نمو شمعدانی ندارد بلکه استفاده از آن به عنوان کود محلول، برای استفاده بهینه از آب در فضای سبز توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: شمعدانی، نانو کلات آهن، پساب فاضلاب، کاروتنوئید.

مقدمه

رشد سریع جمعیت و شهرنشینی، مصرف بی‌رویه آب و تغییرات آب و هوایی از عوامل حیاتی برای کاهش منابع آب شیرین هستند. گزارش شده است که مصرف آب مورد انتظار، سریع‌تر از رشد جمعیت انسان در چندین منطقه از جهان در حال افزایش است. با توجه به وضعیت فعلی کمبود آب، استفاده دوباره از فاضلاب حیاتی ترین نیاز در سراسر جهان است (Islam & Karim, 2016). بر اساس گزارش‌ها، ۹۲٪ از آب شیرین جهان برای کشاورزی استفاده می‌شود که به تقریب ۷۰٪ آن از منابع آب شیرین، از جمله رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود (Rout & Kattumuri, 2022; Hoekstra & Mekonnen, Pedrero *et al*., 2010; Uhlenbrook & Conner, 2019). استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده یک رویکرد عالی برای مدیریت کمبود آب است و توجه جهانی را به خود جلب کرده است (Contreras *et al*., 2017; Huertas *et al*., 2008). تأثیر پساب تصفیه شده بر رشد گیاهان، موضوعی مهم در کشاورزی و مدیریت منابع آب است. استفاده از پساب‌های تصفیه شده به

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

عنوان منبع آبیاری می‌تواند به بهبود رشد گیاهان کمک کند، اما در عین حال نیاز به بررسی دقیق کیفیت پساب و تأثیرات آن بر گیاهان دارد (Jolaini *et al*., 2019).

به طور معمول، فاضلاب تصفیه شده در نیروگاه‌ها برای خنک کردن، آبیاری زمین های گلف، ساخت و ساز ساختمان، آتش نشانی، و شستشوی اتومبیل استفاده می‌شود (Zabalaga *et al*., 2007; Katsoyiannis *et al*., 2017; Yang *et al*., 2017). طبق مطالعات، ۱/۶ تا ۶/۶٪ از فاضلاب تصفیه شده جهان، برای آبیاری زمین‌های کشاورزی استفاده می‌شود (Ungureanu *et al*., 2018). استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده می‌تواند محصولات کشاورزی را تغذیه کند، از آلودگی آب جلوگیری کند و فشار وارده بر منابع آب شیرین را کاهش دهد (Mishra *et al*., 2023). بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی (De Gisi *et al*., 2016) بیش از ۱۰٪ از مردم در سراسر جهان مواد غذایی را مصرف می‌کنند که توسط فاضلاب آبیاری شده است. استفاده از پساب تصفیه نشده می‌تواند خطراتی را در تولید محصولات کشاورزی داشته باشد. استفاده از پساب تصفیه نشده سبب تغییر جامعه میکروبی، بافت و افزایش عناصر سنگین در خاک می‌گردد (Singh *et al*., 2012). با این حال، تصفیه پساب‌ها می‌تواند این خطرات را در کشت محصولات کشاورزی کاهش دهد. علاوه بر این، پساب تصفیه شده با دارا بودن برخی عناصر مفید برای گیاهان، به رشد آنها کمک می‌کند (Ibekwe *et al*., 2018). پساب‌ها با دارا بودن برخی باکتری‌های مفید باعث القاء مقاومت به خشکی و شوری در برخی گیاهان می‌شوند. پژوهشگران نشان داده‌اند که استفاده از این باکتری‌ها می‌تواند به گیاهان در مواقع کمبود آب، کمک شایانی کند (Nourashrafeddin *et al*., 2023Ramandi & seifi, 2023;).

گیاه شمعدانی با نام علمی *Pelargonium* spp از تیره Geraniaceae و انواع مهم آن شامل چهار گروه اصلی حلقه‌دار، عطری، برگ عشقه‌ای و گل درشت است (Ghasemi Ghehsareh *et al*., 2021). شمعدانی از جمله گیاهان پرطرفدار و محبوبی هستند که به‌عنوان گیاهان گلدانی، باغچه‌ای، سبدهای آویز و نیز مصارف دارویی کاربرد دارند. این گیاهان در تجارت بین‌المللی گیاهان باغچه‌ای رتبه دوم را دارا می‌باشند. گوناگونی این گیاهان در اندازه، رنگ برگ و گل، عادت رشد و نوع گلدهی سبب شده که در بسیاری از طراحی‌های فضای سبز سازگار و مناسب باشند (Khandan Mirkouhi *et al*., 2014).

بنابراین، هدف اولیه این مطالعه بررسی استفاده مجدد از پساب تصفیه شده برای آبیاری گیاه شمعدانی به عنوان یک گیاه مهم زینتی و همچنین بررسی پارامترهای مورفوفیزیولوژیک این گیاه تحت محلول پاشی با کود آهن می‌باشد.

مواد و روش‌ها

برای بررسی کاربرد پساب فاضلاب شهری تصفیه شده بر ویژگی های مورفوفیزیولوژیک شمعدانی (*Pelargonium*× *hortorum* L.H.Bailey cv. Horizon Red) آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی با ۲ فاکتور و ۳ تکرار در گلخانه‌ای شخصی در مشهد انجام شد. فاکتور اول شامل دو منبع آبیاری بصورت آبیاری با آب چاه و آبیاری با پساب فاضلاب شهری تصفیه شده بود. فاکتور دوم شامل محلول‌پاشی کود آهن هر دو هفته یکبار به صورت کلات آهن و نانو کلات آهن (سه سطح شامل صفر، ۳ و ۶ گرم در لیتر) پس از استقرار نشاها انجام شد و تا زمان گلدهی ادامه یافت (۵ بار محلولپاشی انجام شد). ویژگی‌های فاضلاب شهری تصفیه شده (پساب از تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و با هماهنگی با شهرداری تهیه شد) در جدول ۱ آمده است.

بذور شمعدانی رقم Horizon Red از شرکت پاکان بذر اصفهان تهیه شد. سپس در سینی‌های نشاء حاوی ماسه و خاک رس و سبوس برنج به نسبت ۱:۱:۱ کاشته شدند (Hoseini, 2021). پس از مرحله دو برگی به گلدان‌های پلاستیکی با قطر ۳۰ سانتی‌متر حاوی ماسه، خاک رس و سبوس برنج با نسبت مساوی منتقل شدند (Hoseini, 2021). کاربرد تیمارها پس از استقرار نشاءها آغاز شد و تا زمان گلدهی به مدت هر پنج روز ادامه داشت. در هر بار آبیاری حجم آبیاری برای هر گلدان ۲۰۰ میلی‌لیتر بود. همچنین یک ماه پس از کشت بذرها نیز گیاهان به‌نسبت یک در هزار با کود ۲۰-۲۰-۲۰ (NPK) تغذیه شدند. میانگین

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

دمـای روزانـه و شبانه گلخانه به‌ترتیب ۲±۲۵ و ۲±۱۸درجه‌سلسیوس و رطوبت‌نسبی بین ۶۰ تا۷۰٪ بـود. در پایان آزمایش، ویژگی‌های مربوط به رشد رویشی و گلدهی و فیزیولوژیکی گیاه اندازه‌گیری شد.

جدول ۱- مشخصات کیفیت آب و پساب مورد آبیاری در مقایسه با استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست ایران.

Table 1- Characteristics of irrigation water and wastewater quality compared to the standard of the Iranian Environmental Protection Organization.

سازمان حفاظت محیط زیست ایران Iranian Environmental Protection Organization	پساب Waste water	آب چاه Well water	واحد Unit	پارامتر Parameter
6.5-8	7.13	7.9	-	پی اچ pH
50	2.71	0.2	mg L^{-1}	فسفات Phosphate
130	19.8	4.77	mg L^{-1}	نیترات Nitrate
10	2.75	1.08	-	نسبت جذب سدیم (SAR)
2.7-5.5	0.78	0.97	dS m^{-1}	شوری EC
8.2	2.14	4.41	meq L^{-1}	منیزیم Mg
-	4.73	2.15	meq L^{-1}	سدیم Na
-	3.8	30.1	meq L^{-1}	کلسیم Ca
-	0.42	0.04	meq L^{-1}	پتاسیم K
31	37	11	ppm	میزان آلودگی آب Biochemical Oxygen Demand (BOD)
100	67	17	ppm	میزان مواد آلی و غیر آلی در آب Chemical Oxygen Demand (COD)
40	51	9	ppm	کل مواد جامد معلق Total Suspended Solids (TSS)

ارتفاع گیاه و طول دمگل با استفاده از خط کش بر حسب سانتی‌متر و قطر ساقه با کولیس اندازه گیری شد. تعداد شاخه‌های جانبی و تعداد گل در هر گل آذین همچنین ثبت شد (شکل ۱).

سطح برگ: میانگین سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع به‌وسیله دستگاه سطح سنج برگ (مدل CI-203) اندازه‌گیری شد.

وزن خشک گیاه: پس از اتمام آزمایش، گیاهان به‌طور کامل به‌همراه ریشه در پاکت‌های کاغذی گذاشته شدند و به.مدت ۴۸ ساعت در آون (مدل Memmert ساخت کارخانه Karl Klob آلمان) با دمای ۷۰ درجه سلسیوس قرار داده شدند و سپس وزن خشک آن‌ها با استفاده از ترازو اندازه‌گیری شد.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

شکل ۱- گل‌های گیاه شمعدانی رقم Horizon Red.

Figure 1- Flowers of geranium plant cv. Horizon Red.

سنجش میزان پرولین

برای اندازه گیری میزان پرولین (Bates *et al*., 1973)، ۰/۵ گرم بافت خشک برگ به همراه ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک ۳ ٪ کوبیده شده و از کاغذ صافی عبور داده شد. به دو میلی‌لیتر از این محلول، دو میلی‌لیتر اسید استیک گلاسیال و دو میلی‌لیتر اسید ناین هیدرین اضافه شد و به مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری در دمای ۱۰۰ درجه قرار داده شد. چهار میلی‌لیتر تولوئن به نمونه اضافه گشت. در نهایت میزان نور جذبی در ۵۲۰ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. میزان پرولین استخراجی بر اساس میکرومول بر گرم وزن تر مشخص گردید.

سنجش میزان آنتوسیانین

برای اندازه‌گیری میزان آنتوسیانین در برگ خشک شمعدانی، ۰/۱ گرم نمونه گیاهی را در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول اسیدی (یک میلی‌لیتر اسید کلریدریک + ۹۹ میلی‌لیتر اتانول ۹۵٪) کاملا حل کرده و پس از رنگ دهی توسط پمپ خلا تصفیه شد و میزان جذب آن در دستگاه اسپکتوفتومتر با طول موج ۵۵۰ نانومتر قرائت گردید (Farooq *et al*., 2020).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

اندازه گیری میزان سبزینه در برگ

برای اندازه گیری سبزینه، ۰/۲۵ گرم برگ تازه با پنج میلی‌لیترآب مقطر در هاون له گردید. ۰/۵ میلی‌لیتر از مخلوط حاصل با ۴/۵ میلی‌لیتر استون ۷۰٪ مخلوط گردید، سپس به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه صورت گرفت (Pan *et al*., 2024). از رونشست برای خوانش در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۵۳، ۶۶۶ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتووتومتر (UV/VIS Spectrometer.T180) استفاده گردید (رابطه۱، ۲ و۳).

رابطه (۱) $\text{Chl a } (\mu g/ml) = (15/65\times A\ 666) - (7/34\times A\ 653)$

رابطه (۲) $\text{Chl b } (\mu g/ml) = (27/05\times A\ 653) - (11/21\times A\ 666)$

رابطه (۳) $\text{Carotenoid } (\mu g/ml) = (1000\times A\ 470) - (2/860\times \text{Chl a}) - (129/2\times \text{Chl b}) / 245$

اندازه‌گیری نشت الکترولیت در گیاه

به‌منظور تعیین درصد نشت الکترولیت ابتدا جوان‌ترین برگ‌های کاملاً توسعه یافته از هر بوته جدا شد و در ویال‌های حاوی ۵۰ میلی‌لیتر آب دوبار تقطیر شده قرار گرفت. ارلن‌ها به‌مدت شش ساعت بر روی شیکر قرار گرفت و سپس هدایت الکتریکی هر نمونه با استفاده از دستگاه EC متر (مدل Jenway) اندازه‌گیری شد (EC_1). سپس نمونه‌ها به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه قرار گرفت و هدایت الکتریکی آنها (EC_2) اندازه‌گیری شد. درصد نشت یونی از رابطه ۴ محاسبه شد (Savage *et al*., 2024).

رابطه (۴) درصد نشت یونی =(EC1/EC2)*100

واکاوی آماری

داده‌ها در پایان با نرم‌افزار Graphpad Prism نسخه نه آنالیز شد و مقایسه میانگین بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. سپس نمودارها توسط نرم‌افزار Graphpad Prism نسخه نه ترسیم شدند.

نتایج و بحث

پارامترهای رشدی

نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که، استفاده از پساب و نانو ذرات کلات آهن، تاثیر معنی‌داری بر وزن خشک، ارتفاع گیاه، شاخص سطح برگ، قطر ساقه و تعداد شاخه‌های جانبی گیاه شمعدانی داشتند (جدول ۲، شکل۲). استفاده از پساب به شکل معنی‌داری رشد گیاه را تحت تاثیر قرار داد به طوری که سبب افزایش ۱۵ و ۱۷ درصدی وزن خشک گیاه تحت تیمار با کلات آهن و نانو کلات آهن نسب به آبیاری با آب چاه شد (شکل۲c) که می‌تواند ناشی از وجود مواد مغذی مورد نیاز گیاه در پساب باشد (Ofori *et al*., 2024; Mishra *et al*., 2023). علاوه‌بر این، استفاده از پساب، ارتفاع و تعداد شاخه‌های جانبی را به شکل معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲a) که می‌تواند ناشی از مقادیر تقریباً بالاتر ترکیبات نیتروژن و فسفر موجود در پساب تصفیه شده نسبت به آب معمولی باشد، زیرا میزان رشد اندام‌های مختلف به‌عنوان تابعی از غلظت مواد مغذی موجود در آب افزایش می‌یابد (Kama *et al*.,2023). همچنین، شاخص سطح برگ در تیمارهای آبیاری شده با پساب ۱۷٪ افزایش یافت (شکل ۲b). محققین نشان دادند که وجود منیزیم و منگنز بالا در پساب تصفیه یافته می‌تواند باعث افزایش سطح برگ و از طرف دیگر افزایش نورساخت در گیاهان گردد (Ofori *et al*., 2024; Mumivand *et al*., 2023). زیرا میزان رشد اندام‌های مختلف به‌عنوان تابعی از غلظت مواد مغذی موجود در آب است. همچنین بررسی اثر آبیاری با پساب شهری بر شاخص‌های رشد دو گونه‌های فضای سبز تهران ،خرزهره[1] و فستوکا[2]، نشان داد، میزان رشد اندام‌های مختلف گیاهان تحت تأثیر شرایط تیمار پساب، تغییر محسوسی داشت (Partani *et al*., 2021). خرزهره بیشترین ارتفاع و قطر تاج پوشش را در تیمارآبیاری با پساب داشت که با

۱- *Nerium oleander*

۲- *Festuca* sp.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

پژوهش حاضر مطابقت دارد. نتایج پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر در رابطه با افزایش ارتفاع بوته با آبیاری با پساب تصفیه شده همسو می باشد (Choopan & Emami, 2018). در بررسی اثر آبیاری با فاضلاب تصفیه شده و مقایسه آن با آبیاری با آب شرب در درخت ماهون[۱]، نتایج نشان داد که فاضلاب تصفیه شده دارای تأثیر زیادی بر پارامترهای رشدی ارتفاع ساقه، قطر ساقه، مساحت برگ، وزن خشک و تر برگ‌ها، ساقه و ریشه در درخت ماهون است (Ali *et al*., 2011). استفاده از نانو کلات آهن نسبت به کود کلات پارامترهای رشدی گیاه شمعدانی را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (شکل ۲). نتایج نشان داد که استفاده از نانو کلات آهن ۲۳٪ وزن خشک گیاه را نسبت به استفاده از کلات آهن در آبیاری با پساب افزایش داد (شکل ۲c). جذب عناصر غذایی برای گیاهان یک فرآیند پیچیده و چالش‌برانگیز است که به عوامل متعددی بستگی دارد. گیاهان به‌طور طبیعی به مواد معدنی نیاز دارند تا بتوانند به رشد و توسعه خود ادامه دهند. این مواد معدنی شامل نیتروژن، فسفر، پتاسیم و میکروالمنت‌هایی مانند آهن، روی و مس هستند. اما این عناصر در خاک به صورت قابل دسترس برای گیاهان وجود ندارند و گیاهان باید روش‌هایی برای جذب آن‌ها پیدا کنند. یکی از روش‌های مؤثر گیاهان برای بهبود جذب عناصر غذایی، تغییر اسیدیته ناحیه رایزوسفری (منطقه‌ای که ریشه‌های گیاه با خاک و میکروارگانیسم‌ها در تعامل هستند) است. با تغییر pH خاک، گیاهان می‌توانند شرایط را به گونه‌ای تغییر دهند که حرکت عناصر غذایی را تسهیل کند (Seifi & Ramandi, 2023)، در نتیجه استفاده از نانو ذرات همواره جذب عناصر را برای گیاه آسان کرده و به رشد آن‌ها کمک می‌کند (Manzoor *et al*., 2023). طبق نتایج قطر ساقه تحت تاثیر نانوکلات آهن ۲۰٪ افزایش یافت (شکل۲d). آهن جزو عناصر اصلی در ساختار آوندهای چوبی و آبکش می‌باشد و به دلیل دردسترس بودن نانو کلات آهن نسبت به کلات آهن برای گیاه در نتیجه افزایش قطر ساقه مشاهده گردیده است (Mentewab *et al*., 2023). از این رو با افزایش آزاد سازی آهن تحت تیمار با نانو کلات آهن، رشد گیاه تحت تاثیر قرار گرفته و افزایش یافته است. با به‌کارگیری نانوکودها به‌عنوان جایگزین کودهای مرسوم، عناصر غذایی کود به‌تدریج و به‌صورت کنترل شده در خاک آزاد می‌شوند. استفاده از نانوکودها منجر به افزایش‌کارایی مصرف عناصر غذایی، کاهش سمیت خاک، به حداقل رسیدن آثار منفی ناشی از مصرف بیش از حدکود و کاهش تعداد دفعات کاربرد کود می‌شود (Roosta *et al*., 2015).

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر کود کلات و نانو کلات آهن، آبیاری با آب چاه و آب پساب بر پارامترهای رویشی در گیاه شمعدانی.

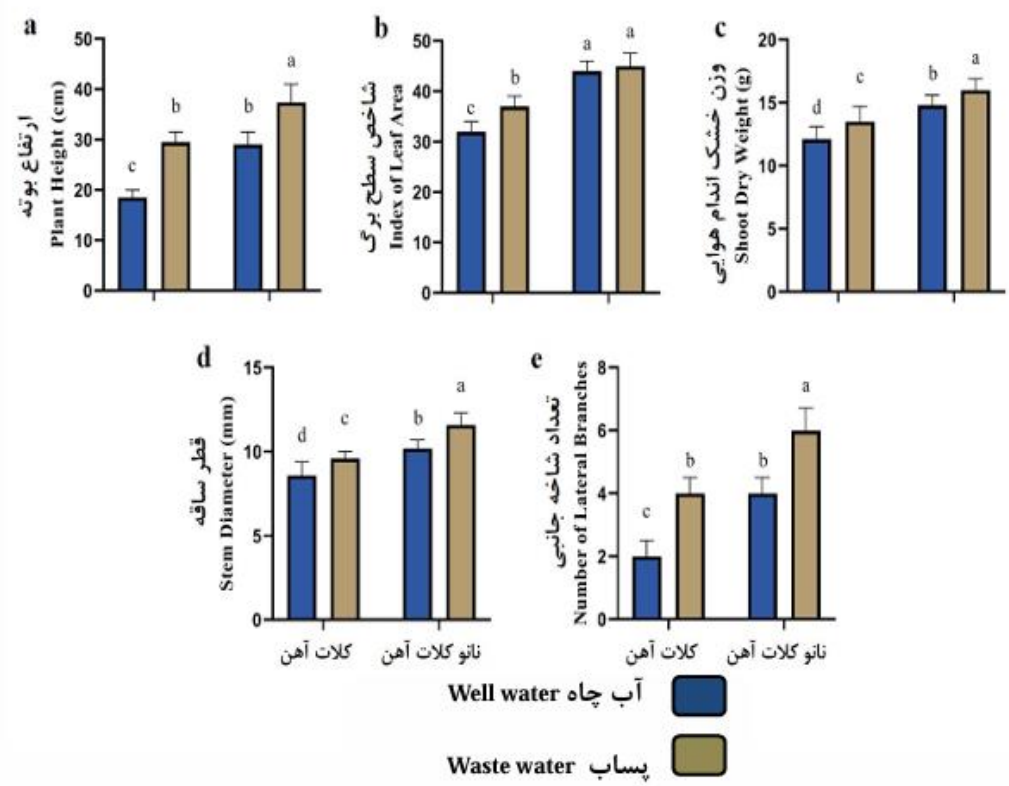
Table 2- Variance analysis of the effect of iron chelates and Nano-chelate fertilizers, irrigation with wastewater and well water and fertilizer levels on vegetative characteristics of geranium plant.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات mean square				
		ارتفاع بوته plant height	قطر ساقه stem diameter	تعداد شاخه جانبی Number of lateral branches	وزن خشک گیاه Dry weight	شاخص سطح برگ leaf area index
کود Fertilizer	1	0.784**	69.44**	6.25**	58.77**	992.25**
آبیاری Irrigation	1	821.77**	13.44**	8.02**	13.44**	61.36**
کود*آبیاری Fertilizer* Irrigation	1	18.77ns	0.14ns	0.02ns	0.44**	20.25ns
خطا Error	1	5.98	0.21	0.36	0.8	7.30
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation(%)	-	10.58	8.18	20.60	6.36	6.79

۱- *Swietenia mahagoni*

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]



شکل ۲- تاثیر استفاده از نانو کلات آهن و کلات آهن همچنین آبیاری با آب چاه و پساب بر ارتفاع ساقه (a)، شاخص سطح برگ (b) ،وزن خشک اندام هوایی (c)، قطر ساقه (d) و تعداد شاخه های جانبی (e). (میله‌های روی هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد هستند، همچنین حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ٪۵ با آزمون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.)

Figure 2- The effect of using iron nano chelate and iron chelate as well as irrigation with well water and wastewater on stem height (a), leaf area index (b), dry weight of aerial parts (c), stem diameter (d), and number of lateral branches (e). (Error bars indicate the standard error of the mean, also Non-identical letters indicate a of Duncan's multiple range test , significant difference at the 5% probability level respectively).

پارامترهای فیزیولوژیک گیاه شعمدانی

نتایج آنالیزهای آماری نشان داد که، استفاده از پساب و نانو ذرات کلات آهن تاثیر معنی‌داری بر پارامترهای پرولین، سبزینه کل، کارتنوئید و نشت الکترولیت گیاه شعمدانی دارند (جدول ۲، شکل ۳). استفاده از پساب تا ۴۰٪ میزان سبزینه کل را در گیاهان افزایش داد (شکل۳a) که ناشی از وجود مقدار زیاد منیزیم و منگنز به عنوان عناصر اصلی تشکیل سبزینه در پساب تصفیه شده می‌باشد (Ofori *et al*., 2024; Mumivand *et al*., 2023). همچنین، میزان پرولین ۲۰ و ۳۰٪ در تیمارهای آبیاری شده با پساب نسبت به آبیاری با آب چاه افزایش یافت (شکل ۳c). یکی از عوامل این افزایش می‌تواند ناشی از وجود فلزات سنگین در پساب تصویه شده باشد که سبب القاء تنش به گیاه و تولید پرولین بیشتر می‌گردد (Atta *et al*., 2023; Zulfiqar & Ashraf, 2023).

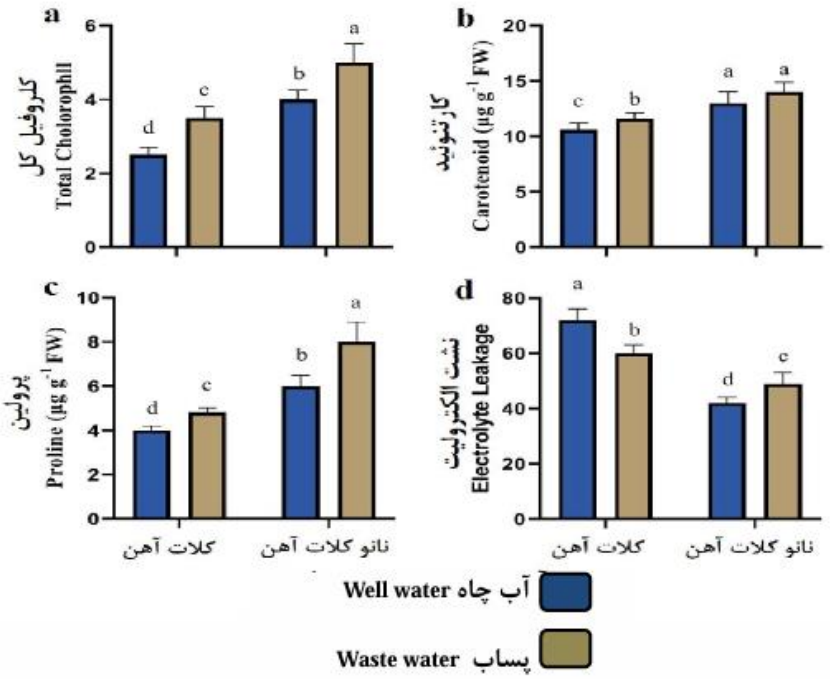
[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر کود کلات و نانو کلات آهن، آبیاری با آب چاه و آب پساب و سطوح کودی بر ویژگی‌های فیزیولوژیک گیاه شمعدانی.

Table 3- Variance analysis of the effect of iron chelates and nano-chelate fertilizers, irrigation with well water and waste water, and fertilizer levels on the physiological characteristics of geranium plants.

منابع تغییرات Sources of variation	درجه آزادی Degrees of freedom	میانگین مربعات mean square			
		سبزینه کل Total chlorophyll	کاروتنوئید Carotenoid	پرولین Proline	نشت الکترولیت Electrolyte leakage
کود Fertilizer	1	19.65**	53.77**	25**	3159.69**
آبیاری Irrigation	1	8.02**	9**	5/44**	173.36**
کود*آبیاری Fertilizer* Irrigation	1	0.02ns	0.0005ns	0/11**	633.36**
خطا Error	1	0.33	1.5	0/55	8.88
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of variation	-	15.54	9.88	13.86	5.55



شکل ۳- تاثیر استفاده از نانو کلات آهن و کلات آهن همچنین آبیاری با آب چاه و پساب بر میزان سبزینه کل (a)، کارتنویید (b)، پرولین (c) و نشت الکترویت (d). (میله های روی هر ستون نشان دهنده خطای استاندارد هستند، همچنین حروف غیر مشابه نشان دهنده وجود تفاوت معنی دار در سطح ٪۵ با آزمون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.)

Figure 3- The effect of using iron nano chelate and iron chelate, as well as irrigation with well water and wastewater, on the amount of total chlorophyll (a), carotenoids (b), proline (c), and electrolyte leakage (d). (Error bars indicate the standard error of the mean, also Non-identical letters indicate a of Duncan's multiple range test , significant difference at the 5% probability level respectively).

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

میزان سبزینه و کارتنویید در تیمار آبیاری با پساب بیشتر از تیمار آبیاری با آب چاه بود (شکل۳b و شکل۳a). اثر آبیاری گیاه یونجه با فاضلاب شهری نسبت به آب چاه، اثرات مثبتی بر ویژگی های فیزیولوژیکی گیاه یونجه داشت که با نتایج این مطالعه نیز مطابق می‌باشد (Elfanssi *et al*., 2018). علاوه بر این استفاده از نانو کلات آهن سبب افزایش ۴۰ درصدی میزان پرولین گردید (شکل ۳c). محققین نشان دادند که استفاده از نانو کلات آهن همواره سبب افزایش میزان پرولین در گیاه می‌گردد (Askary *et al*., 2018).

به طور کلی، افزایش مقدار پرولین نشان‌دهنده این است که گیاهان تحت تنش هستند، اما در برخی موارد، گیاهان می‌توانند به طور همزمان افزایش رشد و تولید پرولین را تجربه کنند (Hayat *et al*., 2012) در واقع برخی گیاهان به‌طور طبیعی دارای مکانیزم‌های سازگاری و تحمل به تنش هستند. این گیاهان ممکن است بتوانند در شرایط تنش‌زا نیز به رشد ادامه دهند و حتی بهبود یابند. همچنین استفاده از نانو کلات‌ها می‌تواند به بهبود جذب عناصر مغذی در شرایط تنش کمک کند. این کلات‌ها می‌توانند در بهبود در دسترس بودن عناصر غذایی و کاهش اثرات منفی فلزات سنگین مؤثر باشند. وضعیت تغذیه‌ای آهن می‌تواند بر جذب اختصاصی و غیر اختصاصی فلزات سنگین موثر باشد (Choen *et al*., 2004). آهن در بسیاری از فعالیت های حیاتی گیاه از قبیل نورساخت وتنفس شرکت می‌کند همچنین آهن در ساختمان پروتئین‌ها هم به‌کار رفته که این ترکیبات پیش‌نیاز ساخت سبزینه هستند (Sanchez *et al*., 2005). فلزات سنگین قابلیت دسترسی و جذب آهن در آپوپلاست ریشه، جذب و انتقال به بخش هوایی را کاهش می‌دهند. گزارش شده است که در وضعیت کمبود آهن جذب و تجمع فلزات سنگین افزایش می‌یابد (Tafvizi *et al* .,2014). در زمینه تأثیر نانوذرات آهن بر تحمل به تنش، در آزمایشی مشخص گردید که تجمع کادمیوم، مهار رشد ریشه و تنش اکسیداتیو در گیاهچه‌های خیار با کاربرد نانوذرات آهن به طور قابل توجهی کاهش یافت (Konate *et al*., 2017).

افزایش مقدار سبزینه در گیاهان تحت تنش می‌تواند به دلایل مختلفی باشد از جمله اینکه گیاهان ممکن است به عنوان یک مکانیزم دفاعی، تولید سبزینه را افزایش دهند تا بتوانند فرآیند نورساخت را بهبود بخشند و انرژی مورد نیاز برای مقابله با تنش را تأمین کنند. همچنین نانو کلات‌ها به بهبود جذب عناصر مغذی کمک می‌کنند، این می‌تواند به افزایش تولید سبزینه و در نتیجه بهبود رشد و توسعه گیاهان منجر شود (Jorjani & Karakaş, 2024) . میزان نشت الکترولیت برخلاف سایر پارامترهای بیوشیمیایی تحت آبیاری با پساب به میزان ۲۵٪ در کلات آهن کاهش یافت (شکل۳d). محققین نشان دادند که پساب تصفیه شده همواره به شکل معنی‌داری نشت الکترولیت پایین‌تری دارد (Abedi-Koupai *et al*., 2006). نانو کلات‌ها به عنوان حامل‌هایی برای عناصر غذایی عمل می‌کنند و می‌توانند در بهبود جذب عناصر مغذی و کاهش اثرات منفی تنش‌های محیطی مؤثر باشند. نانو کلات‌ها می‌توانند به جذب بهتر عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم کمک کنند که این عناصر برای ساخت سبزینه ضروری هستند. همچنین ممکن است با تقویت سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاهان به کاهش تنش اکسیداتیو ناشی از فلزات سنگین کمک کنند (Jorjani & Karakaş, 2024). به‌طور کلی افزایش مقدار سبزینه و پرولین در گیاهان تحت تأثیر نانو کلات‌ها و پساب‌های تصفیه شده، نشان‌دهنده واکنش‌های پیچیده گیاهان به تنش‌های محیطی و توانایی آن‌ها در سازگاری با شرایط نامساعد است. استفاده از نانو کلات‌ها می‌تواند به بهبود جذب عناصر مغذی و کاهش تأثیرات منفی فلزات سنگین کمک کند، در حالی که پساب‌های تصفیه شده ممکن است منابع مغذی مفیدی برای گیاهان فراهم کنند (Amini *et al*., 2019).

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از پساب شهری به‌عنوان منبع آبیاری نه تنها تأثیر منفی بر رشد و نمو گیاه ندارد، بلکه می‌تواند به‌طور قابل توجهی ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک آن را بهبود بخشد. استفاده از نانو کلات آهن در ترکیب با آبیاری با پساب، تأثیر مثبتی بر صفات مختلف گیاه نشان داد و به‌ویژه در افزایش وزن خشک، ارتفاع بوته، قطر ساقه

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

و تعداد شاخه‌های جانبی مؤثر بود. این نتایج حاکی از این است که نانو کلات آهن می‌تواند به‌عنوان یک عامل مؤثر در بهبود عملکرد گیاه در شرایط آبیاری با پساب مورد استفاده قرار گیرد. در حالت کلی با توجه به مسائل و مشکلات موجود در میزان آب آبیاری و عدم دسترسی مناسب در مناطق خشک و گرم کشور، باید توجه ویـژه‌ای بـه ایـن منـابع حداقل در مورد گیاهان زینتی و فضای سبز معطوف گردد.

منابع

Abedi-Koupai, J., Mostafazadeh-Fard, B., Afyuni, M., Bagheri, M. R. (2006). Effect of treated wastewater on soil chemical and physical properties in an arid region. *Plant Soil and Environment*, *52*(8), 335.

Al-Yasi, H., Attia, H., Alamer, Kh., Hassan, F., Esmat, F., Elshazly, S., Kadambot, K. H. M, Siddique, Hessini, K. (2020). Impact of drought on growth, photosynthesis, osmotic adjustment, and cell wall elasticity in Damask rose. *Plant Physiology and Biochemistry, 150*(1), 133-139.

Atta, M. I., Zehra, S. S., Dai, D. Q., Ali, H., Naveed, K., Ali, I., Sawar, M., Ali, B., Iqbal, R., Bawazeer, S., Abdel-Hameed, U. K., Ali, I. (2023). Amassing of heavy metals in soils, vegetables and crop plants irrigated with wastewater: Health risk assessment of heavy metals in Dera Ghazi Khan, Punjab, Pakistan. *Frontiers in Plant Science*, *13*, 1080635.

Alizadeh, A., Bazari, M. E., Velayati, S., Hasheminia, M., Yaghmai, A. (2001). Using reclaimed municipal wastewater for irrigation of corn. In: Proceedings of ICID International Workshop on Wastewater Reuse Management, Seoul. 147-154.

Askary, M., Amini, F., Talebi, S. M., Shafiei Gavari, M. (2018). Effects of Fe-chelate and iron oxide nanoparticles on some of the physiological characteristics of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, *11*(2), 449-458. (in Persian).

Bates, L. S., Waldren, R. P. A., Teare, I. D. (1973). Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and Soil*, *39*, 205-207.

Bedbabis, S., Ben Rouina, B., Boukhris, M., Ferrara, G. (2014). Effects of irrigation with treated wastewater on root and fruit mineral elements of Chemlali olive cultivar. *The Scientific World Journal*, *2014*, 1-8.

Contreras, J. D., Meza, R., Siebe, C., Rodríguez-Dozal, S., López-Vidal, Y. A., Castillo-Rojas, G., Amieva, R.I., Solano-Gálvez, S.G., Mazari-Hiriart, M., Silva-Magaña, M.A., Vázquez-Salvador, N., Rosas Pérez, I., Martínez Romero, L., Salinas Cortez, E., Riojas-Rodríguez, H., Eisenberg, J.N.S. (2017). Health risks from exposure to untreated wastewater used for irrigation in the Mezquital Valley, Mexico: A 25-year update. *Water Research*, *123*, 834-850.

Choopan, Y., Emami, S. (2018). Evaluation of soil chemical properties affected by irrigation with industrial and urban treated wastewaters. *Natural Ecosystems of Iran*, *9*(2), 67-80. (in Persian).

De Gisi, S., Casella, P., Notarnicola, M., Farina, R. (2016). Grey water in buildings: a mini-review of guidelines, technologies and case studies. *Civil Engineering and Environmental Systems*, *33*(1), 35-54.

Elfanssi, S., Ouazzani, N., Mandi, L. (2018). Soil properties and agro-physiological responses of alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigated by treated domestic wastewater. *Agricultural Water Management*, *202*, 231-240.

Farooq, S., Shah, M. A., Siddiqui, M. W., Dar, B. N., Mir, S. A., Ali, A. (2020). Recent trends in extraction techniques of anthocyanins from plant materials. *Journal of Food Measurement and Characterization*, *14*, 3508-3519.

Ghasemi Ghehsareh, M., Ghanbari Soleimanabadi, M., Reezi, S. (2021). Effects of peat moss, cocopeat and licorice residues on geranium growth characteristics (*Pelargonium× hortorum* 'Ringo 2000 Deep Red'). *Flower and Ornamental Plants*, *6*(1), 71-84. (in Persian).

Hayat, S., Hayat, Q., Alyemeni, M. N., Wani, A. S., Pichtel, J., Ahmad, A. (2012). Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signaling & Behavior*, *7*(11), 1456-1466.

Hoekstra, A. Y., & Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *109*(9), 3232-3237.

Hoseini, Y. (2021). Application of Response Surface Methodology in Optimizing Soil Mixing Ratio with Sawdust in Different Soil Moisture Treatments for Greenhouse Cucumber. *Journal of Water Research in Agriculture*, *35*(3), 303-321. (in Persian).

Huertas, E., Salgot, M., Hollender, J., Weber, S., Dott, W., Khan, S., Schäfer, A., Messalem, R., Bis, B., Aharoni, A., Chikurel, H. (2008). Key objectives for water reuse concepts. *Desalination*, *218*(1-3), 120-131. DOI:10.1016/j.desal.2006.09.032

Islam, S. M. F., Karim, Z. (2019). World's demand for food and water: The consequences of climate change. *Desalination-Challenges and Opportunities*, IntechOpen. DOI: 10.5772/intechopen.85919

Ibekwe, A. M., Gonzalez-Rubio, A., Suarez, D. L. (2018). Impact of treated wastewater for irrigation on soil microbial communities. *Science of the Total Environment*, *622*, 1603-1610.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

Jolaini, M., Karimi, M., Sahrahi Sadabadi, S. (2019). Feasibility of wastewater application in water resources management (Case study: Mashhad plain). *Water Management in Agriculture*, *6*(1), 87-94.

Jorjani, S., Karakaş, F. P. (2024). Physiological and biochemical responses to heavy metal stress in plants. *International Journal of Secondary Metabolite*, *11*(1), 169-190.

Katsoyiannis, I. A., Gkotsis, P., Castellana, M., Cartechini, F., Zouboulis, A. I. (2017). Production of demineralized water for use in thermal power stations by advanced treatment of secondary wastewater effluent. *Journal of Environmental Management*, *190*, 132-139.

Konate, A., He, X., Zhang, Z., Ma, Y., Zhang, P., Alugongo, G. M., Rui, Y. (2017). Magnetic (Fe_3O_4) nanoparticles reduce heavy metals uptake and mitigate their toxicity in wheat seedlings. *Sustainability*, *9*, 1 -16.

Kama, R., Liu, Y., Song, J., Hamani, A. K. M., Zhao, S., Li, S., Yang, F., Li, Z. (2023). Treated livestock wastewater irrigation is safe for maize (*Zea mays*) and soybean (*Glycine max*) intercropping system, considering heavy metals migration in soil-plant system. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(4), 3345.

Mentewab, A., Mwaura, B. W., Kumbale, C. M., Rono, C., Torres-Patarroyo, N., Vlčko, T., Ohnoutková,L., Voit, E. O. (2023). A dynamic compartment model for xylem loading and long-distance transport of iron explains the effect of kanamycin on metal uptake in Arabidopsis. *Frontiers in Plant Science*, *14*, 1147598.

Mishra, S., Kumar, R., Kumar, M. (2023). Use of treated sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes-Environmental, health, and economic impacts. *Total Environment Research Themes*,6, 100051.

Mumivand, H., Izadi, Z., Amirizadeh, F., Maggi, F., Morshedloo, M. R. (2023). Biochar amendment improves growth and the essential oil quality and quantity of peppermint (*Mentha* × *piperita* L.) grown under waste water and reduces environmental contamination from waste water disposal. *Journal of Hazardous Materials*, *446*, 130674.

Manzoor, N., Ali, L., Al-Huqail, A. A., Alghanem, S. M. S., Al-Haithloul, H. A. S., Abbas, T., Chen, G., Huan, L., Liu, Y., Wang, G. (2023). Comparative efficacy of silicon and iron oxide nanoparticles towards improving the plant growth and mitigating arsenic toxicity in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *264*, 115382.

Nourashrafeddin, S. M., Ramandi, A., Seifi, A. (2023). Rhizobacteria isolated from xerophyte Haloxylon ammodendron manipulate root system architecture and enhance drought and salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *International Microbiology*, 27(2),337-347.

Ofori, S., Abebrese, D. K., Klement, A., Provazník, D., Tomášková, I., Růžičková, I., Wanner, J. (2024). Impact of treated wastewater on plant growth: leaf fluorescence, reflectance, and biomass-based assessment. *Water Science & Technology*, *89*(7),1647-1664.

Partani, S., Mahmoudi Mozafar, A. (2021). Investigation of the Effect of Irrigation with Urban Wastewater on Growth Indices of Green Space Species in Tehran (*Nerium Oleander* and Festuca). *Journal of Water and Sustainable Development*, *8*(1), 79-88.

Pedrero, F., Kalavrouziotis, I., Alarcón, J. J., Koukoulakis, P., Asano, T. (2010). Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture—Review of some practices in Spain and Greece. *Agricultural Water Management*, *97*(9), 1233-1241.

Pan, W., Cheng, X., Du, R., Zhu, X., Guo, W. (2024). Detection of chlorophyll content based on optical properties of maize leaves. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *309*, 123843.

Ramandi, A., Nourashrafeddin, S. M., Marashi, S. H., Seifi, A. (2023). Microbiome contributes to phenotypic plasticity in saffron crocus. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *39*(1), 1-13.

Ramandi, A., Seifi, A. (2023). Cupriavidus metallidurans bacteria enhance sodium uptake by plants. *Rhizosphere*, *27*, 100767.

Roosta, H. R., Jalali, M., Ali Vakili Shahrbabaki, S. M. (2015). Effect of nano Fe-chelate, Fe-EDDHA and FeSO4 on vegetative growth, physiological parameters and some nutrient elements concentrations of four varieties of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in NFT system. *Journal of Plant Nutrition*, *38*(14), 2176-2184.

Rout, S., Kattumuri, R. (2022). Water: Perspectives, Prospects and Reforms in India. In *Urban Water Supply and Governance in India* (pp. 29-62). Singapore: Springer Nature Singapore.

Ungureanu, N., Vlăduț, V., Dincă, M., Zăbavă, B. Ș. (2018, May). Reuse of wastewater for irrigation, a sustainable practice in arid and semi-arid regions. In *Proceedings of the 7th International Conference on Thermal Equipment, Renewable Energy and Rural Development (TE-RE-RD), Drobeta-Turnu Severin, Romania*, *31*, 379-384.

Singh, P. K., Deshbhratar, P. B., Ramteke, D. S. (2012). Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. *Agricultural Water Management*, *103*, 100-104.

Savage, J. A., Hudzinski, S. J., & Olson, M. R. (2024). Use of electrolyte leakage to assess floral damage after freezing. *Applications in Plant Sciences*, *12*(5), 1-8.

Yang, J., Jia, R. S., Gao, Y. L., Wang, W. F., Cao, P. Q. (2017). The reliability evaluation of reclaimed water reused in power plant project. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 100*(1), 1-7.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

Zabalaga, J., Amy, G., Von Münch, E. (2007). Evaluation of agricultural reuse practices and relevant guidelines for the Alba Rancho WWTP (primary and secondary facultative ponds) in Cochabamba, Bolivia. *Water Science and Technology*, *55*(1-2), 469-475.

Zulfiqar, F., Ashraf, M. (2023). Proline alleviates abiotic stress induced oxidative stress in plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, *42*(8), 4629-4651.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]

Flower and Ornamental Plants (2025), 10(1): 151-162
Research article

The effect of irrigation with filtered wastewater and iron fertilizer application on the morphophysiological characteristics of *Pelargonium×hortorum* cv. Horizon Red

Mahdi Feizolahzadeh, Mahboobeh Naseri*, Ahmad Ahmadian

Department of Plant Production, Faculty of Agriculture, University of Torbat Heydarieh, Torbat Heydarieh
✉ m.naseri@torbath.ac.ir
Received: 2025/01/14, Revised: 2025/04/24, Accepted: 2025/04/26

Abstract
The limitation of water resources has drawn the attention of researchers to the basic use of non-conventional waters such as salt water and municipal and industrial wastewater. Due to the high value of healthy fresh water, wastewater reuse is an efficient option for managing water consumption. To investigate the effects of irrigation with treated wastewater and foliar application of iron fertilizer on the morphophysiological characteristics of geranium, an experiment was conducted in a factorial design within a completely randomized framework with two factors and three replications in a Private greenhouse in Mashhad in the year 1400 (2021-2022). The first factor included two types of irrigation sources (well water and irrigation with wastewater), while the second factor pertained to the foliar application of iron fertilizer, which was examined at three levels: zero, 3, and 6 grams per liter (in the forms of iron chelate and nano iron chelate). The results showed that the effect of fertilizer and type of irrigation water on the assessed traits, except for anthocyanin, was significant at the probability level of 1%. Comparison of the average effect of fertilizer and irrigation on traits showed that the highest plant height, stem diameter, number of lateral branches, dry weight, proline, and carotenoid were observed in iron nano chelate fertilizer and irrigation with wastewater. The use of nano-iron chelates increased the dry weight of the plant by 23% compared to the use of iron chelate in irrigation with wastewater, irrigation with normal water, and the use of iron chelate fertilizer was ranked next. The results of this investigation showed that, unlike water stress, urban wastewater not only does not harm the growth and development of geranium, but its use as a soluble fertilizer is recommended for use in green spaces for optimal use of water.
Keywords: Carotenoid, Geranium, Iron nano-chelate, Sewage effluent.

[Downloaded from flowerjournal.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.61882/fop.10.1.151]