

بررسی کاربرد پساب فاضلاب تصفیه شده شهری بر خصوصیات کمی و کیفی سیب روی پایه‌های مختلف

مهدی نصیرپور^۱، غلامحسین داوری‌نژاد^{۲*}، بهرام عابدی^۳ و امیر فتوت^۴

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۱۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۳۰)

چکیده

باتوجه به کاهش عرضه آب شیرین در جهان به دلیل تقاضای گسترده کشاورزی، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده می‌تواند یک گزینه جایگزین برای افزایش منابع آب باشد. این مطالعه به منظور بررسی کاربرد فاضلاب شهری تصفیه شده بر خصوصیات کمی و کیفی سیب گل‌دن دلپیش با پایه‌های MM106, EM9 و MM111 به صورت کرت‌های خرد شده در قالب بلوک کامل تصادفی در باغات سیب متراکم در طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت. نتایج نشان داد که هدایت روزنه‌ای، شاخص سطح برگ، سطح ویژه برگ، ماده خشک برگ، عملکرد درخت، محتوای کلروفیل برگ، نشت الکترولیت برگ و مقدار پرولین برگ تحت تأثیر پساب تصفیه شده شهری قرار نگرفت و این تغییرات تحت تأثیر پایه‌های مختلف، شرایط جوی و دمای محیط قرار داشت. با این حال، آبیاری با پساب تصفیه شده شهری منجر به افزایش رشد رویشی شاخه‌ها، وزن متوسط و چگالی میوه‌ها شد. بنابراین، آب فاضلاب تصفیه شده شهری با رعایت شیوه‌های مدیریتی مناسب می‌تواند گزینه مناسبی برای جایگزینی آب شیرین باشد.

کلمات کلیدی: آب چاه، آبیاری، پایه‌های مالینگ، پساب تصفیه شده، گل‌دن دلپیش

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- استادیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۴- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

* پست الکترونیک: davarynej@um.ac.ir

مقدمه

عرضه آب شیرین پاک در جهان به‌طور پیوسته در حال کاهش است. در بسیاری از کشورها، تقاضای آب از عرضه پیشی گرفته و با ادامه افزایش جمعیت جهان و افزایش تقاضا برای آب، کمبود آب شیرین پدیدار شده است (شیائو^۱ و همکاران، ۲۰۱۷؛ حسین^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). بخش کشاورزی مصرف‌کننده اصلی آب شیرین است که تقریباً ۸۰ درصد از کل مصرف آب شیرین را تشکیل می‌دهد و پیش بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰، پانزده درصد دیگر را نیز به خود اختصاص دهد (هاشم و کی^۳، ۲۰۲۱) که باعث ایجاد بحران آب در مناطقی می‌شود که از کمبود آب رنج می‌برند. بنابراین، استفاده از منابع جایگزین آب ضروری است. یکی از مهمترین گزینه‌ها برای مدیریت کمبود آب به‌ویژه برای اهداف کشاورزی استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده، است (گرنات^۴ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ریزو^۵ و همکاران، ۲۰۲۰).

فاضلاب تصفیه‌شده به آبی اطلاق می‌شود که حداقل تصفیه ثانویه و ضدعفونی اولیه را دریافت کرده و پس از خروج از تأسیسات تصفیه فاضلاب خانگی مجدداً استفاده می‌شود (هاشم و کی، ۲۰۲۱). استفاده مجدد از این پساب می‌تواند یکی از گزینه‌های اصلی جایگزین برای تأمین منابع آب (چوجناکا^۶ و همکاران، ۲۰۲۰)، به‌ویژه در مناطق خشک باشد (حسین و قریشی^۷، ۲۰۲۰) که به‌علت داشتن مواد آلی و مغذی دارای مزایای اقتصادی و زیست محیطی است زیرا می‌تواند نیاز به تأمین کودهای شیمیایی گران قیمت را به خاک کاهش داده یا حتی مرتفع سازد (دکارلو^۸ و همکاران، ۲۰۲۰) و در نتیجه به‌عنوان یک منبع مهم برای افزایش تولید کشاورزی با هزینه کم شناخته شده است.

از پایه‌های مالینگ به‌عنوان پایه‌های سیب اغلب برای به دست آوردن درختان پاکوتاه و نیمه‌پاکوتاه، دریافت نور کافی، رنگ‌آمیزی خوب میوه‌ها و کیفیت بالای آن‌ها در جهان استفاده می‌شود. پایه سیب MM106 از تلاقی Northern Spy و MI است. این یک پایه نیمه‌پاکوتاه و زودرس است که استقرار خوبی دارد و پاجوش نمی‌دهد که توسط ایستگاه تحقیقاتی ایست‌مالینگ انگلستان توسعه

یافته است. در مقایسه با نوع استاندارد ۸۰-۷۰ درصد اندازه درخت را دارد و برای کاشت با تراکم بالا ایده‌آل است. موسسه باغبانی جان‌اینس و ایستگاه تحقیقاتی ایست مالینگ انگلستان، پایه کلونال دیگری به نام MM111 را در سال ۱۹۵۲ از تلاقی Merton 793 و Northern Spy توسعه دادند که این پایه نیمه‌قوی است و اندازه درختی در حدود ۸۵-۹۰ درصد اندازه درخت پایه بذری تولید می‌کند. علاوه بر این‌ها، پایه EM9 نیز مانند سایر پایه‌های پاکوتاه، پایه‌ای ایده‌آل برای کاشت با تراکم بالا و ساخت سیب‌های کوردون است، اما به‌دلیل ریشه‌های کم‌عمق و ضعیف به خاک غنی از مواد مغذی نیاز دارد. در دوره خشکی به آبیاری منظم نیاز دارد و برای رشد و باردهی نیاز به قیم دارد (لال^۹ و همکاران، ۲۰۲۲).

برای کاهش مشکل کمبود آب برای توسعه کشاورزی، استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده به‌عنوان یک روش قدیمی و بسیار مهم در نظر گرفته می‌شود (هاشم و کی، ۲۰۲۱). بنابراین این مطالعه برای اولین بار با بررسی اثر کاربرد فاضلاب تصفیه‌شده شهری بر خصوصیات کمی و کیفی سیب گلدن‌دلشز با پایه‌های EM9، MM106 و MM111 و انجام مطالعات بنیادی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

نحوه اجرای آزمایش

به‌منظور بررسی کاربرد فاضلاب شهری تصفیه‌شده بر خصوصیات کمی و کیفی در برخی ژنوتیپ‌های سیب، آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۲ عامل و ۳ تکرار در باغات سیب متراکم مزرعه نمونه آستان قدس رضوی واقع در کیلومتر ۵ جاده سرخس به مختصات جغرافیایی UTM: 40S (745100, 4008340) در طی سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ انجام گرفت. عامل اول پایه‌های سیب MM111، MM106، EM9 بودند که سیب رقم گلدن‌دلشز بر روی آن‌ها پیوند شده بودند. عامل دوم چهار سطح آبیاری شامل ۱- آبیاری با اختلاط ۵۰٪ آب چاه و فاضلاب، ۲- آبیاری با ۱۰۰٪ فاضلاب، ۳- آبیاری با آب چاه به‌عنوان شاهد و ۴- آبیاری با آب چاه

6. Chojnacka
7. Hussain and Qureshi
8. De Carlo
9. Lal

1. Xiao
2. Hussain
3. Hashem and Qi
4. Ghernaout
5. Rizzo

عملکرد کل درخت

در زمان رسیدن فیزیولوژیکی محصول، میوه‌های سه درخت در هر کرت آزمایشی برداشت و جداگانه با ترازوی دیجیتالی توزین شدند.

میانگین وزن میوه

در زمان برداشت محصول، ۳۰ عدد میوه بصورت تصادفی انتخاب شدند و توسط ترازوی دیجیتالی توزین و میانگین وزن میوه بدست آمد.

چگالی میوه

برای اندازه‌گیری چگالی میوه سیب تعداد ده عدد میوه با ترازوی دیجیتالی توزین و سپس به روش غوطه‌ورسازی میوه در بشر پر آب و اندازه‌گیری حجم آب جابجا شده توسط استوانه مدرج، حجم میوه بدست آمد و چگالی آن از فرمول زیر محاسبه شد. که ρ چگالی میوه، m جرم میوه و V حجم میوه است (منتقمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۴).

$$\rho = \frac{M}{V}$$

کلروفیل کل

۰/۲۵ گرم از نمونه برگ (W) توزین و با ۲/۵ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد درون هاون چینی ساییده و سپس نمونه‌ها به مدت ۵ دقیقه با دور ۴۵۰۰ سانتریفیوژ شدند. میزان جذب در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۶ و ۴۷۰ نانومتر با استفاده از اسپکتروفتومتر مدل UV-Visible, Cecil, Model 3041 ساخت انگلستان انجام گرفت. در نهایت نیز مقدار کلروفیل کل بر اساس معادلات زیر محاسبه شد (آرنون، ۱۹۷۴).

$$Chl a (mg/g) = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$$

$$Chl b (mg/g) = 21.21 A_{646} - 5.1 A_{663}$$

$$Chl t (mg/g) = (C_a + C_b)$$

نشت الکترولیت برگ

تعداد ۱۰ قطعه یکنواخت از نمونه برگ شسته شده است در لوله فالکون حاوی ده میلی‌لیتر آب مقطر برای مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد روی شیکر روتاری قرار داده شدند. سپس هدایت الکتریکی نمونه‌ها توسط دستگاه EC متر اندازه‌گیری شد (EC_0). سپس نمونه‌ها برای مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد اتوکلاو شده و بعد از سرد شدن، مجدداً EC_1 آنها اندازه‌گیری شد. نشت الکترولیت نمونه‌ها با استفاده از فرمول ذیل تعیین گردید (ایکینچی^۴ و همکاران، ۲۰۱۴).

همراه با کوددهی شیمیایی طبق روال باغ بودند و این تیمار آبیاری بصورت تصادفی روی ردیف‌های درختان اعمال شدند. برای آبیاری با فاضلاب شهری تصفیه شده از پساب تصفیه خانه اولنگ مشهد استفاده گردید. حجم آب با مراجعه به جدول نیاز آبی درخت سیب در ماه‌های مختلف سال و استقرار تشتک تبخیر کلاس A در باغ و تعیین میزان تبخیر تعیین شد.

رشد تجمعی سالیانه شاخه‌ها

بعد از نشانه‌گذاری شاخه‌ها میزان رشد و اندازه‌گیری تعداد و طول شاخه‌های سال جاری و اسپورها، رشد تجمعی شاخه‌های سال جاری توسط متر پارچه‌ای ۴ بار در سال محاسبه شد (رید و کالسیتس^۱، ۲۰۲۰).

هدایت روزنه‌ای

جوان‌ترین برگ کاملاً توسعه یافته برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای استفاده شد. در هر کرت سه برگ انتخاب و هدایت روزنه در دو طرف این برگ‌ها با پرومتر (مدل ELE ساخت کشور انگلستان) اندازه‌گیری شد (کریم‌زاده‌سورشجانی و همکاران، ۱۳۹۶).

شاخص سطح برگ

مجموع مساحت برگ یک طرف گیاهان در واحد سطح زمین است که بدون واحد و با عدد نمایش داده می‌شود و با دستگاه سپتومتر PAR/LAI (AccuPAR LP-80,) (METER Group Inc, Pullman, WA, USA) در دو ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر زیر توری سایبان (نور بالا) و زیر سایه‌انداز درخت (۳۰ سانتی‌متر بالای سطح زمین) اندازه‌گیری شد (مالدرا^۲ و همکاران، ۲۰۲۱).

سطح برگ

میانگین سطح برگ بر حسب سانتی‌متر مربع است و به وسیله دستگاه سطح‌سنج برگ (Leaf area meter) اندازه‌گیری شد (منصورقنای پاشاکی و همکاران، ۲۰۲۲).

درصد ماده خشک برگ (LDW)

ابتدا وزن تر نمونه‌های برگ اندازه‌گیری شد (WW)، بعد برگ‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون ۷۰ درجه خشک و توزین شدند (DW)، سپس درصد ماده خشک برگ از فرمول ذیل بدست آمد (پشنکه و همکاران، ۱۳۹۹).

$$LDW = \frac{WW - DW}{WW} \times 100$$

$$EC = \frac{EC_0}{EC_1} \times 100$$

پرولین برگ

برای اندازه‌گیری پرولین، ۰/۵ گرم نمونه برگ ساییده و هموژن شده و همراه ۱۰ ml اسیدسولفوسالیسیلیک ۳ درصد سانتریفیوژ شد و به ۲ ml از محلول روشناور و استاندارد (۲ ml ناین‌هیدرین + ۲ ml اسیداستیک + نیم‌ساعت بن‌ماری + ۴ ml تولوئن) افزوده به‌منظور ختم واکنش لوله‌ها در حمام یخ قرار گرفت و جذب محلول توسط دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۲۰ نانومتر قرائت شد (بیتس^۱ و همکاران، ۱۹۷۳).

تجزیه و تحلیل آماری

هر آزمون در سه تکرار انجام شد و مقادیر میانگین با انحراف معیار گزارش شد. تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از آنالیز واریانس یک‌طرفه و به‌دنبال آن آزمون مقایسه میانگین توکی انجام شد. تفاوت بین تیمارها در نظر گرفته شد ($P \geq 0.05$). نمودارها با استفاده از Microsoft Excel 2013 رسم شدند.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از میانگین مربعات (جدول ۱) نشان داد که اثر متقابل سال، پایه و آبیاری بر رشد تجمعی سالیانه شاخه‌ها، میانگین وزن میوه و مقدار میانگین وزن میوه‌ها، اثر متقابل سال در پایه بر سطح ویژه برگ، ماده خشک برگ، عملکرد درخت و مقدار پرولین، اثر ساده سال بر هدایت روزنه‌ای، کلروفیل کل و نشت الکترولیت برگ، اثر ساده پایه بر هدایت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ و اثر ساده آبیاری بر چگالی میوه در سطح اطمینان ۱ و ۵ درصد معنی‌دار بودند.

رشد تجمعی سالیانه شاخه‌ها

مقایسه میانگین اثر متقابل سال، آبیاری و پایه (نمودار ۱) بر رشد تجمعی سالیانه شاخه‌ها نشان داد که به‌طور کلی در سال اول بین آبیاری مختلف روی پایه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت اما در سال دوم مقدار رشد تجمعی شاخه‌ها به‌طور معنی‌داری بیشتر از سال اول بود و بیشترین رشد سرشاخه متعلق به پایه MM106 در شرایط آبیاری آب چاه به همراه کوددهی (۱۰۷ سانتی‌متر) و پس از آن، آبیاری

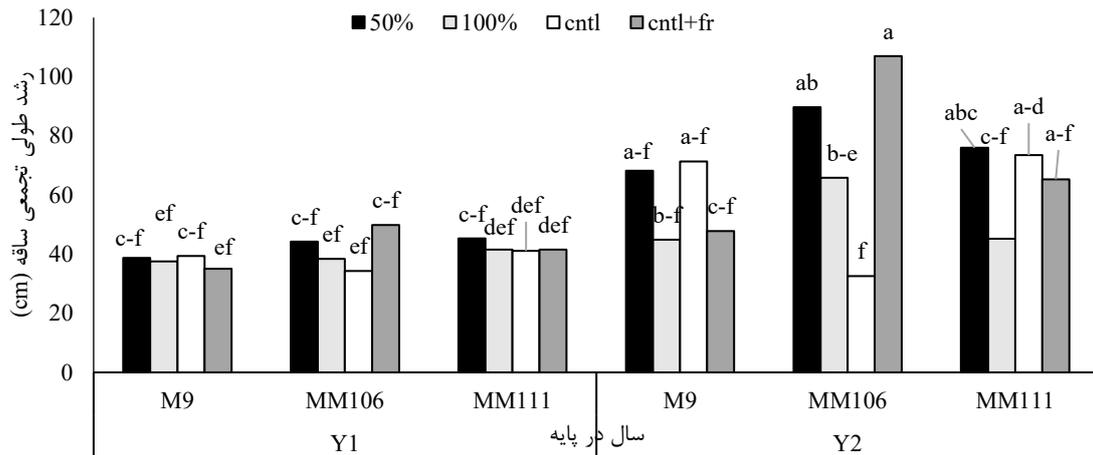
با ۵۰ درصد آب فاضلاب قرار داشت و کمترین رشد مربوط به آب معمولی بود (۳۲/۶۱ سانتی‌متر). مقدار رشد تجمعی شاخه‌های پایه‌های MM111 و EM9 بیشتر از سال اول و غیرقابل توجه بود. با توجه به اینکه آبیاری با آب چاه به همراه کوددهی روی پایه MM106 در هر دو سال بیشترین رشد را ایجاد کرد می‌توان نتیجه گرفت که توقع و نیاز مواد غذایی این پایه بالاست.

نتایج مشابه در سایر مطالعات نیز گزارش شده است. تیمار با آب معمولی روی درخت شلیل در مقایسه با تیمارهای آب، کود و فاضلاب دوبار تصفیه میزان رشد شاخساره کمتری داشت (پرولی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹). نتایج این مطالعه با نتایج نمرا^۳ و همکاران (۲۰۲۰) مغایرت داشت که گزارش کردند استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای آبیاری ذرت با کاهش هدایت هیدرولیکی همراه بود و به‌دلیل انتقال آب ناکافی، رشد سلولی، رشد گیاه و شاخص‌های مرتبط با آن مانند قطر ساقه محدود و متعاقباً عملکرد گیاه مختل شد.

هدایت روزنه‌ای

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده سال و پایه بر هدایت روزنه‌ای به‌ترتیب در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بودند. نتایج مقایسه میانگین نیز نشان داد که هدایت روزنه‌ای سال دوم (۱۳/۹۲ سانتی‌متر بر ثانیه) کمتر از سال اول (۱۹/۹ سانتی‌متر بر ثانیه) و پایه EM9 (۱۸/۹۶ سانتی‌متر بر ثانیه) بیشترین مقدار را در بین سایر پایه‌ها به خود اختصاص داد (جدول ۳ و ۴). نتایج این مطالعه با نتایج سایر مطالعات مطابقت داشت.

نمرا و همکاران (۲۰۲۰) گزارش کردند آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر گیاه ذرت موجب کاهش هدایت هیدرولیکی و تعرق در کل گیاه شد و احتمالاً شوری و فشار اسمزی محلول خاک علت عمده این کاهش بود. مطابق گزارش سرخی و فاتح (۱۳۹۸) دمای بالا، رطوبت کم و محیط‌های شور باعث کاهش هدایت هیدرولیکی، بسته‌شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق در گیاه شود. بنابراین، کاربرد فاضلاب به‌مدت ۲ سال متوالی موجب تجمع نمک در خاک شده (EC فاضلاب بیش از دو برابر آب چاه بود) و کاهش هدایت



نمودار ۱- اثر متقابل سال×پایه×آبیاری بر صفت رشد طولی تجمعی ساقه‌ها. مقایسه میانگین با آزمون توکی و ستون‌ها با حروف مشابه تفاوت معنی داری ندارند.

جدول ۱- تجزیه واریانس اثر آبیاری و اثر متقابل سال×پایه بر برخی صفات

منابع تغییرات	درجه آزادی	رشد تجمعی شاخه‌ها	هدایت روزنه ای	شاخص سطح برگ	سطح برگ	ماده خشک برگ	عملکرد درخت
سال	۱	۸۸۵۴/۶۶*	۶۴۵/۳۷*	۳/۴۰ ^{ns}	۹۲۶/۸۲**	۱۰۲/۱۷**	۲۴۴۴/۷۵*
تکرار	۲	۱۰۶/۸۴	۰/۴۶	۰/۶۸	۱۰/۳۲	۳/۶۳	۱۹/۲۹
خطای کرت اصلی	۲	۱۷۸/۵۰	۶/۲۹	۰/۳۲	۷/۰۸	۰/۳۵	۲۹/۶۸
سطوح آبیاری	۳	۷۰۰/۲۶*	۹/۱۰ ^{ns}	۰/۰۵ ^{ns}	۶/۲۲ ^{ns}	۲/۸۸ ^{ns}	۱/۸۰ ^{ns}
سال*سطوح آبیاری	۳	۳۴۸/۰۰۵ ^{ns}	۱/۱۸ ^{ns}	۰/۱۶ ^{ns}	۶/۶۵ ^{ns}	۰/۶۸ ^{ns}	۱۸/۸۶ ^{ns}
خطای کرت فرعی	۶	۱۰۷/۳۵	۲/۰۲	۰/۳۴	۵/۶۵	۱/۷۲	۱۳/۵۴
پایه	۲	۳۸۰/۷۲*	۸۳/۴۲**	۰/۸۶*	۱۳/۵۴ ^{ns}	۵۹/۷۳**	۳۷۲/۹۸**
سال*پایه	۲	۱۴۴/۶۳ ^{ns}	۱۱/۲۴ ^{ns}	۰/۷۲ ^{ns}	۸۹/۳۸**	۱۲/۱۷**	۹۴۸/۵۱**
پایه*سطوح آبیاری	۶	۸۸۴/۴۳**	۲/۲۵ ^{ns}	۰/۳۵ ^{ns}	۱۰/۲۹ ^{ns}	۱/۵۷ ^{ns}	۷/۵۲ ^{ns}
سال*پایه*سطوح آبیاری	۶	۴۵۱/۸۳**	۱/۸۱ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۲/۸۸ ^{ns}	۰/۸۴ ^{ns}	۱۷/۹۱ ^{ns}
ضریب تغییرات		۲۲/۶	۱۱/۹	۹/۶	۶/۹	۲/۸	۲۲/۲

در هر ستون ^{ns} و ^{**} و ^{*} به ترتیب نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌داری و تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد ($p < 0.01$) است.

هیچ تفاوت معنی‌داری بودند. براساس نتایج ایستگاه ایست مالینگ پایه‌ها روی عادت شاخه‌دهی و شاخص سطح برگ تأثیر می‌گذارند (محرمی و همکاران، ۱۳۹۰).

سطح برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که اثر ساده سال و اثر متقابل سال در پایه بر سطح برگ در سطح اطمینان ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که سطح برگ رقم گل‌دندلیش روی پایه MM111 در سال دوم بیشترین مقدار (۴۰/۶۲ سانتی‌مترمربع) را به خود اختصاص داد و به دنبال آن، سایر پایه‌های MM106 و MM9 در سال دوم بدون هیچ تفاوت معنی‌داری قرار داشتند.

نتایج این مطالعه با نتایج محرمی و همکاران (۱۳۹۰)

روزنه‌ای برگ را موجب شده است. با توجه به اینکه پایه EM9 از رشد کمتری نسبت به دو پایه دیگر برخوردار بوده و دارای برگ کمتر، ارتفاع کمتر، تاج مناسب‌تر و تناسب جذب و تعرق مناسب بوده و هدایت روزنه‌ای بیشتری نسبت به سایر پایه‌ها داشت.

شاخص سطح برگ

این شاخص در ارتباط با رشد رویشی تاج درخت و سایه‌اندازی آن است (مالدرا و همکاران، ۲۰۲۱) نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که فقط اثر ساده پایه بر شاخص سطح برگ در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۴) نشان داد که بیشترین شاخص سطح برگ متعلق به پایه EM9 (معادل ۳/۸۳) بود و سپس پایه‌های MM106 و MM111 بدون

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر آبیاری و اثر متقابل سال×پایه بر برخی صفات

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن میوه	چگالی میوه	کلروفیل کل	نشت الکترولیت برگ	پرولین برگ
سال	۱	۵۳۲۹/۹۳*	۰/۶۲*	۹/۴۹*	۶۱۳۲/۳۵*	۰/۸۰*
تکرار	۲	۲۸۵/۶۱	۰/۰۱۲	۰/۱۹	۸/۰۱	۰/۰۴۲
خطای کرت اصلی	۲	۱۲۰/۳۹	۰/۰۰۷	۰/۱۹*	۸/۳۳	۰/۰۲۳
سطوح آبیاری	۳	۶۰۷/۴۱ ^{ns}	۰/۰۱۵*	۰/۰۶۹ ^{ns}	۵۵/۸۲ ^{ns}	۰/۰۰۲ ^{ns}
سال*سطوح آبیاری	۳	۷۸/۱۶ ^{ns}	۰/۰۰۷ ^{ns}	۰/۰۶ ^{ns}	۳۷/۶۸ ^{ns}	۰/۰۱۳ ^{ns}
خطای کرت فرعی	۶	۳۳۲/۵۴*	۰/۰۰۲	۰/۰۱۹	۵۴/۰۸	۰/۰۲
پایه	۲	۳۰۸۵/۲۶**	۰/۰۳**	۰/۱۹ ^{ns}	۴۲/۸۶ ^{ns}	۰/۱۲**
سال*پایه	۲	۱۶۳۵/۶۲**	۰/۰۳**	۰/۰۹ ^{ns}	۵۹/۰۷ ^{ns}	۰/۱۷**
پایه*سطوح آبیاری	۶	۱۵۰/۳۱ ^{ns}	۰/۰۰۳ ^{ns}	۰/۰۹ ^{ns}	۲۶/۷۵ ^{ns}	۰/۰۳ ^{ns}
سال*پایه*سطوح آبیاری	۶	۴۴۰/۳۵**	۰/۰۰۱ ^{ns}	۰/۲۲ ^{ns}	۵۸/۳۲ ^{ns}	۰/۰۲۸ ^{ns}
ضریب تغییرات		۹/۱	۵/۳	۶/۰	۹/۹	۱۷/۷

در هر ستون ^{ns}، * و ** به ترتیب نشان دهنده عدم تفاوت معنی داری و تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد ($p < 0.01$) است.

جدول ۳- اثر ساده سال بر هدایت روزنه‌ای

منابع تغییرات	سال اول	سال دوم
هدایت روزنه‌ای (cm/s)	۱۹/۹۰ ^a	۱۳/۹۲ ^b

میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد بر اساس آزمون توکی ندارند.

جدول ۴- اثر ساده پایه بر هدایت روزنه‌ای و شاخص سطح برگ

منابع تغییرات	پایه MM106	پایه MM111	پایه EM9
هدایت روزنه‌ای (cm/s)	۱۵/۳۲ ^b	۱۶/۴۵ ^b	۱۸/۹۶ ^a
شاخص سطح برگ	۳/۴۷ ^b	۳/۷۳ ^b	۳/۸۳ ^a

میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمال یک درصد برای هدایت روزنه‌ای و ۵ درصد برای شاخص سطح برگ بر اساس آزمون توکی ندارند.

جدول ۵- اثر متقابل سال در پایه بر برخی صفات

تیمارها	سطح برگ (cm ²)	ماده خشک برگ (%)	عملکرد درخت (kg/tree)	چگالی میوه (g/cm ³)	پرولین (μmol/g)
سال اول × EM9	۳۱/۰۹ ^c	۴۲/۴۳ ^b	۹/۴۳ ^b	۰/۸۹ ^c	۰/۸۸ ^b
سال اول × MM106	۲۹/۸۲ ^c	۴۶/۷۴ ^a	۲۵/۷ ^a	۰/۸۹ ^c	۱/۱ ^a
سال اول × MM111	۲۸/۱۸ ^c	۴۵/۹۱ ^a	۲۸/۱۳ ^a	۰/۸۷ ^c	۰/۸۵ ^b
سال دوم × EM9	۳۶/۰۴ ^b	۴۱/۶۸ ^b	۱۲/۲۹ ^b	۰/۹۹ ^b	۰/۶۳ ^c
سال دوم × MM106	۳۶/۴۱ ^b	۴۳/۳۹ ^b	۷/۲۱ ^b	۱/۱۲ ^a	۰/۷ ^{bc}
سال دوم × MM111	۴۰/۶۳ ^a	۴۲/۸۵ ^b	۸/۸ ^b	۱/۱۱ ^a	۰/۸۲ ^{bc}

میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی داری در سطح احتمالی که در جدول تجزیه واریانس مشخص شده بر اساس آزمون توکی ندارند.

اول بود و بین پایه‌های مختلف تفاوت معنی داری وجود نداشت. در سال اول بیشترین ماده خشک برگ با ۴۶/۷۴ درصد و ۴۵/۹۱ درصد بترتیب متعلق به پایه‌های MM106 و MM111 بود. کاهش ماده خشک برگ با کاهش هدایت روزنه‌ها، کاهش تبدلات گازی، تبخیر و تعرق گیاه مرتبط بود و متعاقباً در تنفس و فتوسنتز گیاه نقش مهمی به عهده دارند (مونه‌وکس و بلحسن^۱، ۱۹۹۶؛ مدرانو^۲ و همکاران،

همه‌هنگ بود که گزارش کردند برگ‌های رقم دلباراستیوال بر روی پایه MM111 سطح برگ بالایی داشتند.

ماده خشک برگ (LDW)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که مقدار درصد ماده خشک برگ تحت تأثیر سال و پایه و اثر متقابل این دو قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که درصد ماده خشک برگ در سال دوم کمتر از سال

۲۰۰۲).

عملکرد درخت

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۱) نشان داد که مقدار عملکرد کل درخت تحت تأثیر سال و پایه و اثر متقابل این دو قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که عملکرد کل درخت در سال دوم کمتر از سال اول بود و بین پایه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. بیشترین عملکرد قابل توجه در سال اول متعلق به پایه‌های MM106 و MM111 به ترتیب با مقادیر ۲۸/۷۰ و ۲۵/۱۳ کیلوگرم بر درخت بود و سپس پایه EM9 با عملکرد ۹/۴۳ کیلوگرم بر درخت قرار داشت. مطابق نیکلاس^۱ و همکاران (۲۰۱۶) آبیاری درختان نارنگی با فاضلاب تصفیه‌شده موجب کاهش عملکرد گیاه و کاهش بهره‌وری گیاه شد. از طرف دیگر، ممکن است بارندگی در زمان گلدهی و کاهش تلقیح گل‌ها هم در این مورد نقش اساسی ایفا کرده باشد.

وزن متوسط میوه

نتایج حاصل از (جدول ۲) نشان داد این صفت نیز به تیمارهایی نظیر سال آزمایش، پایه، اثر متقابل این دو و اثر متقابل سال×پایه آبیاری وابسته بود. بیشترین وزن میوه در سال دوم متعلق به پایه EM9 تیمار آب چاه همراه کود با وزن ۱۴۷ گرم و پایه ۱۰۶ فاضلاب ۵۰ درصد با وزن ۱۴۶/۵ گرم و کمترین وزن میوه مربوط به سال اول در تیمار آب چاه و پایه MM106 بود اما اختلاف تیمارها در سال دوم معنی‌دار نبود (نمودار ۲). گرچه افزایش اندک تیمار فاضلاب ۵۰ درصد نسبت به تیمار آب و کود معنی‌دار نیست اما تشابه آن حاکی است که با کاربرد فاضلاب می‌توان نتایجی مشابه تیمار مصرف کود از نظر تغذیه و رشد میوه به دست آورد که ارزش اقتصادی کاهش مصرف کود را بدنبال دارد. وزن بیشتر میوه در سال دوم می‌تواند اولاً مرتبط با کاهش عملکرد باشد که آب و مواد غذایی بیشتری به میوه‌ها تخصیص یافته است. ثانیاً به بهتر بودن شرایط جوی در اوایل بهار سال دوم و دمای مناسب و رطوبت نسبی کافی هنگام تقسیم سلولی میوه تازه تشکیل یافته مربوط باشد که باعث طولانی شدن دوره تقسیم سلولی و بیشتر شدن تعداد سلول میوه‌ها شده است و میوه با تعداد سلول بیشتر، درشت‌تر خواهد بود. تأثیر مثبت فاضلاب بر آسیمیلیاسیون

کل تاج درخت و بهبود نسبت منبع/سینک درخت، به دلیل اثر تغذیه‌ای مفید و تا حدی در برآوردن نیازهای گیاهی به مواد مغذی باعث اثرات مثبت بر رشد و کیفیت میوه می‌شود (پروولی^۲ و همکاران، ۲۰۱۹).

چگالی میوه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد اثر آبیاری بر این صفت در سطح ۵ درصد و اثر ساده پایه و اثر متقابل سال در پایه در سطح ۱ درصد معنی‌دار شدند. بیشترین چگالی میوه متعلق به تیمار آب چاه بود که دلیل آن می‌تواند ریزتر بودن سیب به دلیل تغذیه ضعیف میوه باشد. به طور کلی میوه در شرایط تغذیه‌ای مناسب هم از نظر تعداد سلول هم از نظر سایز سلول‌ها رشد قابل توجهی دارد. با توجه به (جدول ۴) در سال دوم وزن بیشتر میوه منجر به افزایش چگالی میوه بخصوص برای پایه‌های مالینگ‌مرتون ۱۰۶ و ۱۱۱ شده است. نظیر این شرایط برای پایه مالینگ ۹ نیز وجود دارد اما چون میوه‌های روی پایه مالینگ ۹ درشت‌تر از سایر پایه‌ها بودند چگالی آن به طور معنی‌داری کاهش نشان داد. چون در این پایه عملکرد تک درخت کمتر از درختان دوپایه دیگر بود لذا میوه تولیدی در شرایط رقابتی کمتری برای جذب آب و مواد غذایی قرار داشته و درشت‌تر شده و در نتیجه چگالی کمتر داشته است. از آنجا که چگالی میوه با سفتی و ماندگاری میوه رابطه مستقیم دارد به نظر می‌رسد تیمار فاضلاب ماندگاری میوه کمتری داشته باشند که این موضوع در گزارشات دیگر محققین تأیید شده است (دکوراتو^۳، ۲۰۲۰؛ چن^۴ و همکاران، ۲۰۲۳).

کلروفیل کل

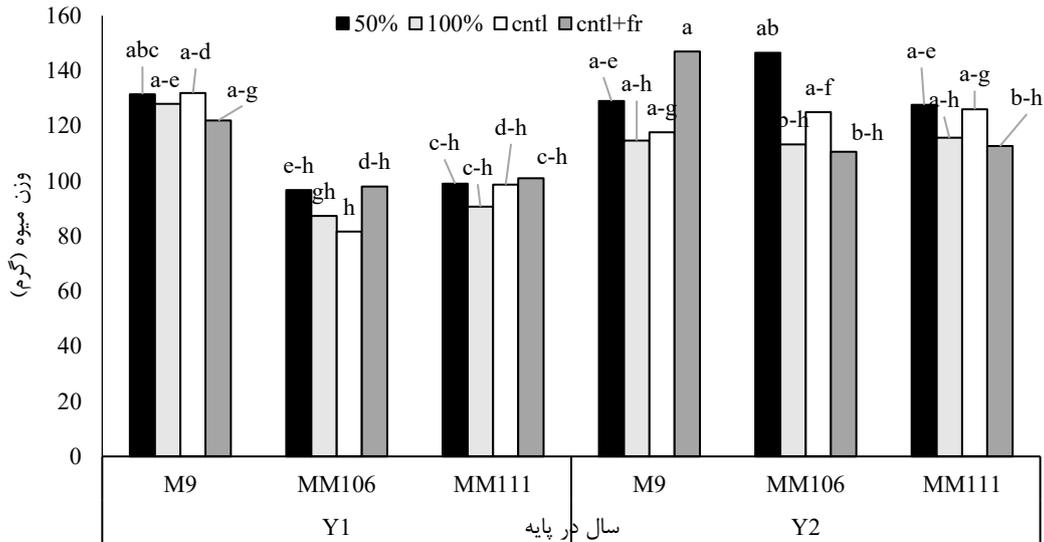
نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده سال بر مقدار کلروفیل کل در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد که مقدار کلروفیل کل سال دوم بیشتر از سال اول بود. افزایش بارندگی و رطوبت نسبی بالاتر به‌ویژه در سال دوم، می‌تواند دلیل افزایش محتوای کلروفیل باشد. تحقیقات انجام شده توسط نعمت‌پور و عشقی‌زاده (۱۳۹۸) نشان داد که خشکی باعث کاهش شاخص سبزی برگ و سطح کلروفیل می‌شود. گیاه تحت تنش میزان کلروفیل کمتری دارد چون رادیکال

3. De Corato

4. Chen

1. Nicolás

2. Perulli



نمودار ۲- مقایسه میانگین اثر متقابل سال×پایه×آبیاری بر صفت وزن میوه. میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد بر اساس آزمون توکی ندارند.

که منجر به پراکسیداسیون چربی‌های غشا، تغییر در ساختار فسفولیپید و آسیب به غشای سلولی می‌شود، این آسیب منجر به نشت یون‌ها به خارج سیتوپلاسم می‌شود (ساجدو^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

پرویلین برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که اثر ساده سال و پایه و اثر متقابل سال در پایه بر مقدار پرویلین در سطح اطمینان ۵ و ۱ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۵) نشان داد که مقدار پرویلین در سال دوم کمتر از سال اول بود و بین پایه‌های مختلف تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. پایه EM9 در سال دوم کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. شرایط آب و هوایی حاکم در سال دوم و تنش‌های حرارتی و شوری سال اول می‌تواند بر تجمع پرویلین در بافت برگ تأثیر بگذارد. درخت سیب به شوری خاک بسیار حساس است. با توجه به اینکه فاضلاب دارای غلظت قابل توجهی سدیم و کلر است، می‌تواند تا

های آزاد اکسیژن باعث تخریب غشای کلروپلاست و کلروفیل می‌شوند (سومان^۱ و همکاران، ۲۰۲۱).

نشت الکترولیت برگ

نتایج حاصل از تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان داد که فقط اثر ساده سال بر مقدار نشت الکترولیت در سطح اطمینان ۵ درصد معنی‌دار بود. نتایج مقایسه میانگین (جدول ۶) نشان داد که مقدار نشت الکترولیت در سال دوم کمتر از سال اول بود. مرور اطلاعات اقلیمی دو سال آزمایش نشان می‌دهد که در سال دوم به دلیل افزایش قابل توجه بارش‌ها و تاثیر مثبت بر افزایش رطوبت نسبی هوا و تعدیل دما و پتانسیل آب گیاه، درختان از حیث رطوبت و دما کمتر تحت تنش بوده‌اند و لذا گونه‌های فعال اکسیژن کمتری ساخته شده‌اند (درایزن^۲ و همکاران، ۲۰۲۰). مقاومت گیاه در برابر تنش تحت تأثیر پایداری غشای سلولی است. شرایط استرس‌زا مانند سرما، گرما و خشکسالی می‌تواند باعث تولید گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سلول‌های گیاهی شود

جدول ۶- اثر ساده سال بر مقدار کلروفیل کل و نشت الکترولیت برگ

منابع تغییرات	کلروفیل کل (mg/g)	نشت الکترولیت برگ (%)
سال اول	۲/۰۳ ^b	۳۵/۷۱ ^a
سال دوم	۲/۷۶ ^a	۱۷/۲۵ ^b

میانگین‌های با حروف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمالی که در جدول تجزیه واریانس مشخص شده، بر اساس آزمون توکی ندارند.

الکتروولت برگ، کاهش مقدار پرولین برگ و کاهش عملکرد کل درخت در سال دوم در مقایسه با سال اول شد. این نتایج نشان می‌دهد که آبیاری سیب گلدن‌دلشز با پساب تصفیه شده شهری افزایش رشد تجمعی شاخه‌ها و وزن و چگالی میوه را بدنبال داشت و بر سایر صفات کمی و کیفی درخت سیب بی‌تأثیر بود. بنابراین آب فاضلاب تصفیه شده شهری می‌تواند گزینه مناسبی برای جایگزینی آب شیرین باشد.

تقدیر و تشکر

مقاله حاضر مستخرج از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد. این طرح تحت حمایت مالی دانشگاه فردوسی با شماره طرح ۳/۴۹۰۹۶ قرار گرفته است که از همکاری این موسسه نهایت تقدیر و تشکر می‌شود.

حدودی اثرات شوری را در گیاهان ایجاد کند (آراس و استیکن^۱، ۲۰۱۹). سایر محققین انباشتگی ترکیبات نیتروژن‌دار مانند پرولین را برای افزایش تنظیم اسمزی گیاهان گزارش کرده‌اند. بسیاری از گیاهان غلظت قندها، اسیدهای آلی، پروتئین‌ها و اسیدهای آمینه را به‌عنوان اسمولیت افزایش می‌دهند تا با تنش شوری سازگار شوند (مینا^۲ و همکاران، ۲۰۱۹؛ اوزتورک^۳ و همکاران، ۲۰۲۱).

نتیجه‌گیری کلی

در این آزمایش، بدلیل عوامل مختلفی مانند تأثیر پایه‌های EM9، MM106 و MM111، شرایط اقلیمی (دما و بارندگی) و احتمالاً شوری در محیط رشد گیاهان موجب کاهش هدایت روزنه‌ای، کاهش ماده خشک برگ، افزایش شاخص سطح‌برگ، افزایش سطح برگ، کاهش نشت

منابع

- پشنکه، ز.، شمیلی، م.، عبدالهی، ف. و قاسمی، م. ۱۳۹۹. برهمکنش شوری و جیبرلین بر ریزش برگ، ماده خشک، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و محتوای عناصر در گواوا (*Psidium guajava* L.). مجله پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران) (علمی)، ۳۳(۴): ۸۰۹-۸۲۶.
- سرخ، ف. و فاتح، م. ۱۳۹۸. اثر تنش خشکی بر شاخص سطح برگ، فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و میزان پرولین در دو رقم لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris* L.). تنش‌های محیطی در علوم زراعی، ۱۲(۲): ۳۸۹-۳۹۹.
- کریم‌زاده‌سورشجانی، ه.، نظامی، ا.، کافی، م. و تدین، م. ۱۳۹۶. بررسی تغییرات هدایت روزنه‌ای، دمای سایه‌انداز گیاهی و آب برگ ژنوتیپ‌های لوبیا چیتی در شرایط کم‌آبیاری. فیزیولوژی گیاهان زراعی، ۳۰(۸): ۱۰۵-۱۲۰.
- محرمی، ر.، ربیعی، و.، امیری، م.ا. و عظیمی، م. ۱۳۹۰. اثر پایه بر برخی صفات سیب رقم دلبار استیوال. مجله به‌نژادی نهال و بذر، ۲۷: ۳۲۳-۳۳۷.
- منتقمی‌راد، ر.، احمدی، ا. و ساریخانی، ح. ۱۳۹۴. بررسی تغییرات برخی خواص فیزیکی و شیمیایی میوه زیتون طی انبارمانی. علوم باغبانی، ۳۰(۲): ۱۹۹-۲۰۰.
- نعمت‌پور، ا. و عشقی‌زاده، ح. ۱۳۹۸. اثر تنش خشکی، تغذیه شیمیایی نیتروژن و تاریخ کاشت بر برخی ویژگی‌های آگرو فیزیولوژیک دو رقم ارزن، فرآیند و کارکرد گیاهی، ۳۳(۸): ۱۷۱-۱۸۶.
- Aras, S. and Eşitken, A. 2019. Responses of apple plants to salinity stress. Yuzuncu Yıl University Journal of Agricultural Sciences, 29(2): 253-257.
- Arnon, D.I., McSwain, B.D., Tsujimoto, H.Y. and Wada, K. 1974. Photochemical activity and components of membrane preparations from blue-green algae. I. Coexistence of two photosystems in relation to chlorophyll a and removal of phycocyanin. Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics, 357(2):231-245.
- Bates, L.S., Waldren, R.P.A. and Teare, I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39:205-207.
- Chen, Q., Li, J., Yang, H. and Qian, J. 2023. A dynamic shelf-life prediction method considering actual uncertainty: application to fresh fruits in long-term cold storage. Journal of Food Engineering, 349:111471.

- Chojnacka, K., Witek-Krowiak, A., Moustakas, K., Skrzypczak, D., Mikula, K. and Loizidou, M. 2020. A transition from conventional irrigation to fertigation with reclaimed wastewater: Prospects and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130:109959.
- De Carlo, L., Battilani, A., Solimando, D. and Caputo, M.C. 2020. Application of time-lapse ERT to determine the impact of using brackish wastewater for maize irrigation. *Journal of Hydrology*, 582:124465.
- De Corato, U. 2020. Improving the shelf-life and quality of fresh and minimally-processed fruits and vegetables for a modern food industry: A comprehensive critical review from the traditional technologies into the most promising advancements. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(6): 940-975.
- Driesen, E., Van den Ende, W., De Proft, M. and Saeys, W. 2020. Influence of environmental factors light, CO₂, temperature, and relative humidity on stomatal opening and development: A review. *Agronomy*, 10(12): 1975.
- Ghernaout, D., Elboughdiri, N. and Al Arni, S. 2019. Water Reuse (WR): Dares, restrictions, and trends. *Applied Engineering*, 3(2): 159-170.
- Hashem, M.S. and Qi, X. 2021. Treated wastewater irrigation—A review. *Water*, 13(11): 1527.
- Hussain, M.I. and Qureshi, A.S. 2020. Health risks of heavy metal exposure and microbial contamination through consumption of vegetables irrigated with treated wastewater at Dubai, UAE. *Environmental Science and Pollution Research*, 27: 11213-11226.
- Hussain, M.I., Muscolo, A., Farooq, M. and Ahmad, W. 2019. Sustainable use and management of non-conventional water resources for rehabilitation of marginal lands in arid and semiarid environments. *Agricultural Water Management*, 221: 462-476.
- Ikinci, A., Bolat, I., Ercisli, S. and Kodad, O. 2014. Influence of rootstocks on growth, yield, fruit quality and leaf mineral element contents of pear cv. 'Santa Maria' in semi-arid conditions. *Biological Research*, 47: 1-8.
- Lal, M., Jamwal, M., Singh, H., Bakshi, P., Sharma, M., Kumar, B. and Sinha, S.K. 2022. Comparative economics of in vitro grown plantlets of clonal apple MM 106 and MM 111 rootstocks. *Agric Mech Asia*, 53(2): 6161-6171.
- Mansour Ghanaei Pashaki, K., Mohsenabadi, G.R., Biglouei, M.H., Farhangi, M.B. and Mokhtassi Bidgoli, A. 2022. Effect of Rice-Duck Co-Cultivation on the Trend of Changes in Growth Indices, Photosynthesis and Irrigation and Precipitation Water Productivity in Different Cultivation Systems. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production (Journal of Agricultural Science)*, 32(1): 149-174.
- Maldera, F., Vivaldi, G.A., Iglesias-Castellarnau, I. and Camposeo, S. 2021. Row orientation and canopy position affect bud differentiation, leaf area index and some agronomical traits of a super high-density almond orchard. *Agronomy*, 11(2): 251.
- Medrano, H., Escalona, J.M., Bota, J., Gulías, J. and Flexas, J. 2002. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. *Annals of Botany*, 89(7): 895-905.
- Meena, M., Divyanshu, K., Kumar, S., Swapnil, P., Zehra, A., Shukla, V., Yadav, M. and Upadhyay, R.S. 2019. Regulation of L-proline biosynthesis, signal transduction, transport, accumulation and its vital role in plants during variable environmental conditions. *Heliyon*, 5(12).
- Monneveux, P. and Belhassen, E. 1996. The diversity of drought adaptation in the wide. *Plant Growth Regulation*, 20: 85-92.
- Nemera, D.B., Bar-Tal, A., Levy, G.J., Lukyanov, V., Tarchitzky, J., Paudel, I. and Cohen, S. 2020. Mitigating negative effects of long-term treated wastewater application via soil and irrigation manipulations: Sap flow and water relations of avocado trees (*Persea americana* Mill.). *Agricultural Water Management*, 237: 106178.
- Nicolás, E., Alarcón, J.J., Mounzer, O., Pedrero, F., Nortes, P.A., Alcobendas, R., Romero-Trigueros, C., Bayona, J.M. and Maestre-Valero, J.F. 2016. Long-term physiological and agronomic responses of mandarin trees to irrigation with saline reclaimed water. *Agricultural Water Management*, 166: 1-8.
- Ozturk, M., Turkyilmaz Unal, B., García-Caparrós, P., Khursheed, A., Gul, A. and Hasanuzzaman, M. 2021. Osmoregulation and its actions during the drought stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 172(2): 1321-1335.

- Perulli, G.D., Bresilla, K., Manfrini, L., Boini, A., Sorrenti, G., Grappadelli, L.C. and Morandi, B. 2019. Beneficial effect of secondary treated wastewater irrigation on nectarine tree physiology. *Agricultural Water Management*, 221: 120-130.
- Reid, M. and Kalsits, L. 2020. Water deficit timing affects physiological drought response, fruit size, and bitter pit development for 'Honeycrisp' apple. *Plants*, 9(7): 874.
- Rizzo, L., Gernjak, W., Krzeminski, P., Malato, S., McArdell, C.S., Perez, J.A.S., Schaar, H. and Fatta-Kassinos, D. 2020. Best available technologies and treatment trains to address current challenges in urban wastewater reuse for irrigation of crops in EU countries. *Science of the Total Environment*, 710: 136312.
- Sachdev, S., Ansari, S.A., Ansari, M.I., Fujita, M. and Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10(2): 277.
- Suman, S., Bagal, D., Jain, D., Singh, R., Singh, I.K. and Singh, A. 2021. Biotic stresses on plants: reactive oxygen species generation and antioxidant mechanism. In *Frontiers in plant-soil interaction* pp. 381-411. Academic Press.
- Xiao, Y., Shao, J., Cui, Y., Zhang, G. and Zhang, Q. 2017. Groundwater circulation and hydrogeochemical evolution in Nomhon of Qaidam Basin, northwest China. *Journal of Earth System Science*, 126: 1-16.