نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۷، ص. ۹۷۵-۹۶۱

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 5, Nov.-Des. 2018, p. 961-975

اثر مکش آب خاک و پتاسیم بر عملکرد و شاخص‌های بیوشیمیائی پرتقال تامسون ناول (*Citrus sinensis* L. Osbeck.)

طاهره رئیسی[1*]- بیژن مرادی[2]- بهروز گلعین[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر مکش آب خاک، همراه با پتاسیم بر عملکرد، برخی ویژگی‌های بیوشیمیایی و رشد رویشی درختان پرتقال تامسون‌ناول روی پایه سیترومیلو اجرا شد. بدین‌منظور، یک آزمایش فاکتوریل در قالب طرح آماری بلوک کاملاً تصادفی به مدت دو سال در باغ پرتقال اجرا شد. فاکتورها شامل: انجام آبیاری در مکش‌های رطوبتی خاک ۲۰، ۴۰، ۶۰ کیلو پاسکال (بر اساس مکش تانسیومتر) و یک تیمار بدون آبیاری؛ و کاربرد کود پتاسیم در دو سطح ۵۰ و ۱۰۰ گرم پتاسیم ضرب در سن درخت در نظر گرفته شد. سپس، در دو سال آخر آزمایش عملکرد، پتاسیم قابل استفاده و قطر تاج درختان و در سال آخر آزمایش، مقدار پرولین، نشت یونی و هدایت الکتریکی خاک اندازه گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار قطر تاج درختان با انجام آبیاری افزایش ($P<0/05$) یافت. هم‌چنین، نتایج سال آخر پژوهش نشان داد که در سطح اول پتاسیم بین مقدار عملکرد در تیمارهای آبیاری ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوپاسکال تفاوت معنی‌داری ($P<0/05$) مشاهده نشد. علاوه‌براین، اثر پتاسیم بر عملکرد به مکش آب خاک بستگی داشت. هم‌چنین، با افزایش مکش رطوبتی خاک در زمان آبیاری مقدار پرولین، نشت یونی، پتاسیم قابل‌استفاده و قابلیت هدایت الکتریکی افزایش معنی-داری داشتند. به‌طور کلی، باتوجه به نتایج عملکرد و نیز با در نظر گرفتن محدویت منابع آبی می‌توان پیشنهاد کرد که در مناطق با اقلیم و خاک مشابه با منطقه مور مطالعه، بهترین زمان آبیاری درختان پرتقال تامسون‌ناول موقعی است که تانسیومتر مکش ۶۰ کیلوپاسکال (ضریب تخلیه ۵۲ درصد) را نشان دهد. علاوه براین، بهینه‌ترین مقدار پتاسیم جهت کوددهی این درختان در شرایط ذکر شده، معادل ۵۰ گرم پتاسیم ضرب در سن درخت می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تانسیومتر، پرولین، سیترومیلو، نشت‌یونی

مقدمه

مرکبات دومین صنعت بزرگ میوه در تجارت جهانی می‌باشند و این صنعت می‌تواند در اقلیم‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری با خاک مناسب، دمای هوای متوسط و رطوبت دائمی هوا، گسترش یابد (۴۳). در ایران نیز، مرکبات، یکی از محصولات باغی استراتژیک است که با تولید سالیانه ۴۳۴۵ هزار تن، مقام اول را در بین تولیدات باغی کشور به خود اختصاص داده است (۱). آبیاری یکی از مهم‌ترین عملیات مؤثر در تولید میوه‌های با کیفیت و کمیت بالا در باغ‌های مرکبات می‌باشد و نیاز آبیاری درختان به آب و هوا، نوع خاک، گونه و پایه بستگی دارد. طبق گزارش مؤسسه خاک و آب نیاز آبی مرکبات در استان مازندران از ۵۸۳ (نوشهر) تا ۹۱۸ (قائم‌شهر) میلی‌متر در سال متغیر می‌باشد. به هرحال، درختان مرکبات به دلیل همیشه سبز بودن در تمام طول سال تعرق داشته و به رطوبت نیاز دارند و به ویژه در مرحله رشد رویشی به کاربرد آب پاسخ نشان می‌دهند (۳۱).

چندین روش جهت تدوین برنامه آبیاری مرکبات بر اساس عوامل خاکی، فیزیولوژی و محیطی پیشنهاد شده است. تعیین زمان آبیاری بر اساس مکش رطوبتی خاک با استفاده از تانسیومتر ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روش است که توسط بسیاری از محققین در دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین طبق تحقیقات گذشته در ایالت فلوریدا، برای اجتناب از کاهش عملکرد، آبیاری در مرکبات باید زمانی آغاز شود که تانسیومتر مکش ۱۰ تا ۲۰ کیلوپاسکال را نشان می‌دهد (۹، ۳۷ و ۴۴). آبیاری در این وضعیت حاکی از آن است که رطوبت خاک در حد آب سهل‌الوصول تأمین می‌شود. به عبارت دیگر زمانی که تانسیومتر مکش بزرگتر از ۲۰ کیلوپاسکال را نشان دهد، شروع تنش آبی برای مرکبات است. در آزمایشی طبق گزارش پاراماسیوام و همکاران (۳۷) در فلوریدا در فاصله زمانی ژانویه (اواسط دی) تا ژوئن

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیار، مربی و دانشیار پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر
(*- نویسنده مسئول: (Email: taraiesi@gmail.com
DOI: 10.22067/jsw.v32i5.70820

(اواسط تیر) وقتی تانسیومترهای مستقر شده در اعماق ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری مکش ۱۰ کیلوپاسکال را نشان می‌دهند و در ژولای (اواسط) تیر تا دسامبر (اواسط دی) زمانی که تانسیومترها مکش ۱۵ کیلوپاسکال را نشان می‌دهند، آبیاری باید انجام شود تا رطوبت خاک در حد بهینه حفظ شود. از تانسیومتر برای تعیین زمان آبیاری می‌توان استفاده نمود، اما تانسیومتر اطلاعاتی در مورد مقدار آب لازم برای آبیاری در اختیار کشاورز قرار نمی‌دهد. معمولاً یک مرز بالایی از تخلیه آب خاک به عنوان نقطه‌ای که آبیاری باید انجام گردد، در نظر گرفته می‌شود و آب با هدف رساندن رطوبت خاک از حد مورد نظر به حد ظرفیت زراعی یه کار برده می‌شود. طبق گزارش سریواستاوا و همکاران (۴۵) ضریب تخلیه مجاز رطوبتی برای مرکبات ۲۰ درصد می‌باشد. آبیاری در فواصل درازمدت، درختان مرکبات را در معرض تنش خشکی قرار داده و منجر به کاهش رشد، حجم تاج درخت، قطر ساقه و مقدار ریشه‌های مویین می‌شود (۲۳ و ۴۱). سانچز و همکاران (۴۱) گزارش کردند که انجام آبیاری در ضریب تخلیه مجاز ۵۵ و ۷۰ درصد منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد و اندازه میوه لیمو لیسبون نسبت به انجام آبیاری در ضریب تخلیه مجاز ۲۵ درصد شده است.

گیاهان در پاسخ به تنش خشکی سازوکارهای مختلفی را به‌کار می‌گیرند. از جمله این سازوکارها می‌توان به افزایش نسبت ریشه به ساقه، برگ‌های کوچکتر و محدودتر، افزایش ترکیبات مؤثر بر پتانسیل اسمزی گیاه، افزایش متابولیت‌ها و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان اشاره کرد (۲۶). تجمع ترکیبات مؤثر بر پتانسیل اسمزی گیاه از جمله پرولین باعث کاهش پتانسیل اسمزی سلول و ساختاره‌های گیاهی شده که منجر به حفظ شیب پتانسیل آب از خاک به گیاه در شرایط تنش خشکی می‌شود (۱۰ و ۱۳). پتانسیل اسمزی پایین سلول و ساختارهای گیاهی باعث آماس بافت و اندام‌های آن شده که در شرایط ذکر شده در اندام‌های برگی گیاهان، امکان باز بودن روزنه و تبادل گازهای مؤثر بر فتوسنتز و رشد گیاه فراهم خواهد شد (۴ و ۱۸). علاوه براین، راهکار دیگر برای افزایش تحمل نسبی گیاهان در برابر تنش خشکی، حفظ پایداری غشا است (۵). افزایش نشت یونی با افزایش نفوذپذیری غشا پلاسمایی همراه است. اندازه‌گیری نشت یونی روش مناسب در ارزیابی پایداری غشا در گیاهان تحت تنش می‌باشد (۲۵).

برای دستیابی به تولید بالا و نیز برای سلامت درخت، کاربرد کودهای شیمیایی در باغ‌های مرکبات امری لازم می‌باشد. اغلب کودهای شیمیایی نمک‌های معدنی بوده که به شکل جامد و یا همراه آب آبیاری در باغ‌ها و نیز به‌صورت محلول‌پاشی استفاده می‌شوند. در باغ‌های مرکبات شمال کشور اغلب پتاسیم از منابع کود سولفات پتاسیم و یا نیترات پتاسیم تأمین می‌گردد. پتاسیم برای تنظیم تعادل یونی در سلول، توسعه اندازه میوه و تنظیم ضخامت پوست میوه ضروری است (۶ و ۳۵). کمبود پتاسیم موجب کاهش میزان فتوسنتز برگ، افزایش حساسیت درختان به تنش‌های زنده و غیرزنده، کاهش تولید کربوهیدرات‌ها، کاهش تشکیل میوه، تشدید ریزش میوه، افزایش چین‌خوردگی آلبدو و افزایش پارگی پوست میوه مرکبات می‌شود (۲). بررسی منابع نشان می‌دهد وقتی مقدار پتاسیم گیاه کافی و مناسب باشد، به دلیل افزایش ترکیبات آلی مانند پرولین (۱۸) و افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان (۱۲)، اثرات منفی تنش‌های خشکی کاهش می‌یابد. تاکنون در باغ‌های مرکبات پژوهشی جامع در زمینه‌ی اثر کاربرد خاکی کود پتاسیم بر کاهش اثرات منفی ناشی از تنش خشکی انجام نشده است.

کشت مرکبات یکی از مهمترین فعالیت‌های کشاورزی در شمال ایران بوده و رقم تامسون‌ناول از ارقام تجاری پرتقال در غرب مازندران است که پرورش آن روی پایه سیترومِلو در حال گسترش می‌باشد. از سوی دیگر، کمبود منابع آبی به ویژه در فصل تابستان یکی از محدودیت‌ها اصلی در تولید مرکبات در این منطقه می‌باشد. در این مناطق مساحت کمی از باغ‌های مرکبات به سیستم‌های آبیاری مجهز بوده و توزیع بارندگی متناسب با نیاز آبی مرکبات نیست چرا که در ماه‌های گرم سال که تبخیر روزانه بالا است، بارندگی به میزانی نیست که جوابگوی نیاز تبخیر و تعرق مرکبات باشد و بیشتر درختان مرکبات دچار تنش ناشی از خشکی می‌شوند. از سوی دیگر، مطالعات کمی در ارتباط با نحوه‌ی مدیریت تغذیه پتاسیم در شرایط محدودیت منابع آبی وجود دارد. لذا این پژوهش به منظور بررسی اثر مقدار مکش آب در خاک به همراه کاربرد کود سولفات پتاسیم بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی و رشد رویشی مرکبات و در نهایت تعیین حد بهینه مکش آب در خاک در زمان آبیاری اجرا شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در ایستگاه تحقیقاتی کترا پژوهشکده مرکبات واقع در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز و در طول جغرافیایی ۵۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه شمالی که حدود ۶۰ متر از سطح دریا ارتفاع دارد، انجام شد. متوسط درازمدت بارندگی این منطقه ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال بود که عمدتاً از شهریور تا اردیبهشت ماه می‌باشد و در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد مقدار بارندگی کمتر از نیاز آبی مرکبات است.

قبل از شروع آزمایش و کشت درختان، نمونه خاک از عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی¬متری جمع¬آوری و برخی از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی اولیه خاک محل آزمایش تعیین گردید. اسیدیته نمونه‌های خاک در عصاره ۲ به ۱ محلول به خاک (۴۶)، قابلیت هدایت الکتریکی در عصاره‌های صاف شده با نسبت ۵ به ۱ محلول به خاک (۳۹)، کربنات کلسیم معادل خاک به روش تیتراسیون برگشتی با اسید کلریدریک یک نرمال (۲۷)، درصد کربن آلی خاک به روش

اکسیداسیون تر (۳۴) و بافت خاک به روش هیدرومتر (۱۷) تعیین شد. هم‌چنین مقدار نیتروژن کل (۷)، فسفر قابل استفاده (۳۶) و پتاسیم قابل استفاده (۲۱) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین در نمونه خاک تهیه شده مقدار رطوبت در ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی توسط دستگاه صفحه تحت فشار اندازه گیری شد. مقدار رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و حد پژمردگی در این خاک به‌ترتیب ۳۴ و ۱۱ درصد حجمی بود. بنابراین مقدار رطوبت قابل استفاده در این خاک ۲۳ درصد می‌باشد.

به منظور ارزیابی اثر آبیاری در چهار سطح مکش آب در خاک و کاربرد دو سطح کود پتاسیم بر عملکرد و حجم تاج درختان مرکبات و نیز بر برخی شاخص‌های بیوشیمیایی درختان پرتقال، یک آزمایش فاکتوریل باغی در قالب طرح بلوک کاملاً تصادفی در چهار تکرار با استفاده از درختان پرتقال تامسون‌ناول به مدت دو سال انجام شد (هر درخت به¬عنوان یک واحد آزمایشی در نظر گرفته شد).

جهت اجرای آزمایش، ۳۰۰ اصله پایه یکسان سیترومله در اسفندماه سال اول آزمایش در خزانه انتظار کشت شد و مراقبت‌های لازم انجام گردید. شهریور سال بعد پیوندک‌های تامسون ناول از یک درخت مادری سالم و قوی تهیه و روی پایه‌های مورد نظر پیوند شد. در بهار سال سوم، پایه‌ها سربرداری شده و در پائیز تعداد ۳۲ اصله نهال سالم و یکسان از نظر قطر ساقه و ارتفاع انتخاب و در محل اصلی با فاصله ۶×۷ کشت شدند. خاک بستر کشت نهال‌ها با ترکیب کود دامی، ماسه و خاک سطحی باغ تهیه شد. از سال دوم پس از انتقال نهال‌ها به باغ، تیمارهای مورد نظر (کود پتاسیم و آبیاری) بر درختان اعمال شدند. فاکتور آبیاری بر اساس مکش رطوبتی خاک با استفاده از تانسیومتر در چهار سطح (بدون آبیاری (مطابق عرف محل) (I_0)، ۶۰ (I_1)، ۴۰ (I_2)، ۲۰ (I_3) کیلوپاسکال) در نظر گرفته شد. تانسیومتر در فاصله ۴۰ سانتی‌متری از تنه درخت و در عمق ۳۰ سانتی‌متری مستقر گردید. لازم به ذکر است که بر اساس منابع موجود حداکثر تراکم ریشه مرکبات در مناطق مرطوب مانند شمال کشور در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری از خاک وجود دارد (۱۱، ۱۴ و ۳۲). بنابراین، در هر تکرار برای هر تیمار آبیاری (آبیاری در ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوپاسکال) یک تانسیومتر در عمق ۳۰ سانتی‌متری در نظر گرفته و در مجموع ۱۲ تانسیومتر در عمق ۳۰ سانتی‌متری به کار گرفته شد. علاوه براین، برای اطمینان از حرکت جبهه رطوبتی، در هر تیمار یک تانسیومتر نیز در عمق ۶۰ سانتی‌متری مستقر گردید. در خاک مورد مطالعه مقادیر رطوبت در تیمارهای آبیاری I_3، I_2 و I_1 به‌ترتیب ۲۹، ۲۶ و ۲۲ درصد بود. در پژوهش حاضر آبیاری با استفاده از میکروجت با سرعت تخلیه آب ۱/۵ لیتر در دقیقه و در زمانی که مکش رطوبتی خاک برای هر تیمار به مقدار مورد نظر می‌رسید، انجام می‌گرفت. برای این منظور هفته‌ای سه مرتبه اعداد تانسیومترها بررسی شد و آبیاری بر اساس متوسط اعداد تانسیومتر تکرارها انجام و همه تکرارهای یک تیمار به صورت همزمان آبیاری شدند. مقدار ضریب تخلیه مجاز در تیمارهای آبیاری I_3، I_2 و I_1 در تحقیق حاضر به‌ترتیب ۲۱، ۳۵ و ۵۲ درصد بود و عمق آب آبیاری هر نوبت آبیاری در تیمارهای آبی مورد بررسی به ترتیب ۶۱، ۹۸ و ۱۴۶ میلی‌متر بر متر خاک بود. حجم آب آبیاری در سال آخر آزمایش در هر نوبت آبیاری برای هر درخت در مکش‌های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوپاسکال به‌ترتیب ۱۲۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ لیتر بود. فاکتور پتاسیم بر اساس سن درخت در دو سطح ۵۰ (K_1) و ۱۰۰ (K_2) گرم ضرب در سن درخت در نظر گرفته شد و هر سال در اسفندماه در ناحیه سایه‌انداز درخت پخش و با خاک مخلوط گردید. کلیه عملیات باغداری شامل کوددهی (به جز پتاسیم)، هرس، کنترل علف‌های هرز و مبارزه با آفات و بیماری‌ها، طی مدت اجرای آزمایش برای همه درختان بطور یکسان انجام گردید. لازم به ذکر است که در مرحله رشد رویشی (تا چهار سال) فقط کود نیتروژن به‌صورت کودآبیاری هر دو هفته یک‌بار به مقدار ۵۰ گرم کود اوره برای هر نهال درخاک استفاده شد. در مرحله رشد زایشی، کودهای اوره، دی‌آمونیوم فسفات، سولفات منیزیم و سولفات روی بر اساس آزمون خاک و برگ به همه درختان به مقدار مساوی داده شد.

در چهار سال اول پس از انتقال نهال‌ها به باغ قطر تاج درختان تحت تیمارهای مورد بررسی اندازه‌گیری شد و پس از باردهی درختان در دی ماه سال پنجم، ششم و هفتم، پس از رسیدن نسبت میزان مواد جامد قابل حل (TSS) به اسیدیته قابل تیتراسیون میوه به ۷-۶ درصد، میوه¬ها برداشت و مقدار عملکرد هر درخت اندازه‌گیری شد. علاوه براین در دو سال آخر پژوهش حاضر مقدار پتاسیم قابل جذب خاک (۲۱) نیز اندازه‌گیری شد. هم‌چنین میزان پرولین برگ، نشت یونی برگ، کلروفیل برگ (با استفاده از کلروفیل سنج مینولتا) براساس اسپاد، و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در عصاره ۵ به ۱ (۳۹) آب به خاک نیز در سال آخر پژوهش اندازه‌گیری شدند.

پرولین از برگ‌ها با سولفوسالسیلیک اسید (۳٪ حجمی/حجمی) استخراج و به روش باتز (۳) اندازه‌گیری شد. نشت یونی به روش یان و همکاران (۴۸) اندازه گیری شد. قطعات برگ در بشر حاوی ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر دوبار تقطیر شناور شده و به مدت ۳ ساعت در دمای ۳۰ درجه سلسیوس انکوبه شدند. قابلیت هدایت الکتریکی محلول در دمای ۲۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها به مدت ۲ دقیقه در آب جوش قرا داده شدند و سپس تا دمای اتاق (۲۵ درجه سلسیوس) خنک شدند و قابلیت هدایت الکتریکی اندازه گیری شد. نشت یونی با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد.

$$EL(\%)= (EC1/EC2)\times 100$$

که در آن: EL نشت یونی و EC1، EC2 به ترتیب قابلیت هدایت الکتریکی اندازه‌گیری شده قبل و بعد از جوشاندن نمونه‌ها می‌باشد.

وجود اختلاف در عملکرد، پتاسیم قابل استفاده؛ و قطر تاج درخت در میان تیمارهای آبیاری و کوددهی پتاسیم و سال‌های نمونه‌برداری توسط تجزیه واریانس چند طرفه بررسی شد. از آنجا که آزمایش از زمان کاشت نهال‌ها در باغ هفت سال به طول انجامید و در سال اول باردهی درختان (سال پنجم بعد از کاشت نهال‌ها در باغ) مقدار عملکرد ناچیز بود، بنابراین در تحقیق حاضر داده‌های مربوط به عملکرد، پتاسیم قابل استفاده و قطر تاج در دو سال آخر هر اندازه‌گیری گزارش شده و برای در نظر گرفتن اثر سال بر این شاخص‌ها، تجزیه واریانس مرکب انجام شد (۳۰). علاوه براین، در مورد دیگر ویژگی‌های مورد بررسی شامل میزان پرولین برگ، نشت یونی برگ،کلروفیل برگ و قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سال آخر پژوهش تجزیه واریانس دوطرفه انجام شد. مقایسه میانگین به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹ انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج بررسی ویژگی‌های خاک مورد پژوهش قبل از شروع آزمایش نشان داد که خاک مورد بررسی خاکی اسیدی، غیرشور با مقدار کربنات کلسیم معادل <۱٪ می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ مورد پژوهش

Table 1- Soil physical and chemical properties of studied garden

عمق (سانتی‌متر)	بافت (-)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن (درصد)	کربن آلی (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته (-)
Depth (cm)	Texture (-)	Potassium (mg/kg)	Phosphorus (mg/kg)	Nitrogen (%)	Organic carbon (%)	Electrical conductivity (dS/m)	Acidity (-)
0-30	Clay لوم رسی loam	198	40	0.14	1.43	0.048	6.2
30-60	Clay رسی	150	18	0.04	0.43	0.022	5.8

متوسط بارندگی طی دوره ده ساله‌ی مور مطالعه ۱۲۳۰ میلی‌متر در سال و متوسط نیاز آبی پرتقال طی این دوره ده ساله ۶۵۰ میلی‌متر بر سال بود. بررسی آمار هواشناسی ده ساله در منطقه مورد مطالعه نشان داد که تقریباً ۸۹ درصد بارندگی در منطقه مورد مطالعه از شهریور تا اردیبهشت ماه رخ داده است و متوسط مقدار بارندگی طی دوره ده ساله‌ی مورد بررسی در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد به‌ترتیب ۵۵، ۵۹ و ۲۹ میلی‌متر بر ماه بود. این درحالی بود که حداکثر مقدار نیاز آبی پرتقال در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد به‌ترتیب ۹۵، ۱۰۰ و ۱۰۴ میلی‌متر بر ماه (با کمک از نرم‌افزار CROPWAT) با استفاده از داده‌های هواشناسی محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، مقدار نیاز آبی مرکبات در ماه‌های خرداد، تیر و مرداد بیشتر از مقدار بارندگی رخ داده طی این ماه‌ها می‌باشد. بنابراین، انجام آبیاری تکمیلی طی این ماه‌ها ضروری می‌باشد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب اثر کاربرد دو سطح پتاسیم، اعمال چهار سطح مکش رطوبتی خاک در زمان آبیاری و دو سال نمونه‌برداری بر پتاسیم قابل استفاده، عملکرد و قطر تاج درخت در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود اثر سال بر عملکرد و قطر تاج؛ اثر مکش آب خاک بر عملکرد، قطر تاج و پتاسیم قابل استفاده و اثر سطح پتاسیم بر پتاسیم قابل استفاده معنی‌دار بود. هم‌چنین بررسی نتایج نشان داد اثر متقابل مکش آب خاک، پتاسیم و سال بر عملکرد و پتاسیم قابل استفاده معنی‌دار بود. بنابراین، عملکرد و پتاسیم قابل استفاده تابعی از پتاسیل آب خاک، پتاسیم و سال مورد مطالعه می‌باشند.

بررسی اثرات متقابل سطح پتاسیم، مکش رطوبتی خاک و سال بر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک نشان داد که در هر دو سال مورد مطالعه بیشترین پتاسیم قابل استفاده در تیمار I_0K_2 و کمترین مقدار این شاخص در تیمار I_3K_1 مشاهده شد. در هر دو سال مورد مطالعه مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک در تمامی سطوح مکش آب خاک با افزایش سطح کاربرد کود پتاسیم افزایش و با انجام آبیاری تکمیلی مقدار این شاخص در همه تیمارهای مورد مطالعه نسبت به تیمار بدون آبیاری کاهش یافت. به¬طور کلی، تغییرات مقدار پتاسیم قابل استفاده در خاک به مکش رطوبتی خاک در زمان آبیاری، سطح کاربرد کود پتاسیم و سال مطالعه بستگی داشت (جدول ۳). با توجه به تحقیقات گذشته، افزایش رطوبت خاک از ۱۰ به ۲۸ درصد منجر به افزایش بیش از دو برابری انتقال پتاسیم در خاک می‌گردد (۴۲)، بنابراین در تحقیق حاضر می‌توان این‌چنین استنباط کرد که با افزایش مکش آب در زمان آبیاری از ۲۰ به ۶۰ کیلوپاسکال با توجه به کاهش رطوبت خاک از ۳۰ به ۲۲ درصد در زمان آبیاری، مقدار پخشیدگی پتاسیم به سمت ریشه پرتقال کاهش یافته و به دنبال آن کاهش جذب این عنصر توسط ریشه رخ داده و مقدار پتاسیم خاک افزایش نشان داده است.

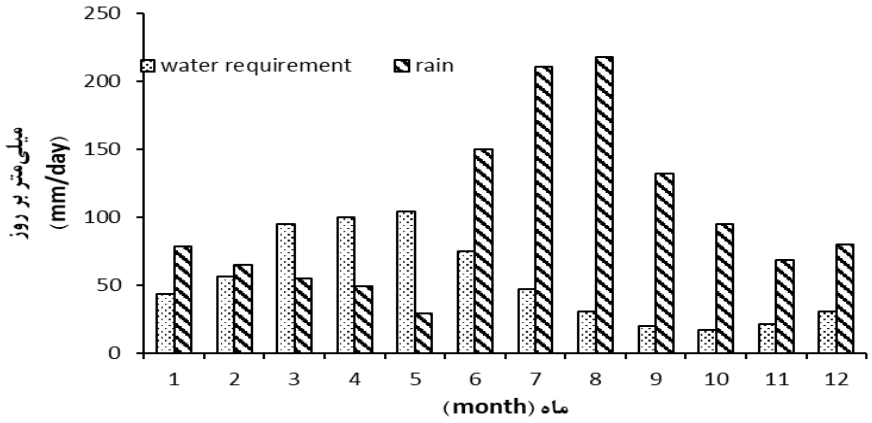
جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس سه طرفه برای پتاسیم قابل استفاده، عملکرد و قطر تاج درختان پرتقال تامسون‌ناول طی دو سال نمونه‌برداری تحت اعمال تیمارهای مختلف آبیاری و کوددهی

Table 2- Three-factor analysis of variance (ANOVA) results (F) for available potassium, yield and canopy diameter per Thomson-Navel orange tree during two sampling years of different irrigation and fertilization treatments

ویژگی Attribute	سال Year	سال(بلوک) Year(Block)	مکش آب خاک Soil water tensions	مکش آب خاک×سال Soil water tensions×year	سطح پتاسیم Potassium level	سطح پتاسیم×سال Potassium level×year	مکش آب خاک×پتاسیم Soil water tensions×potassium	مکش آب خاک×پتاسیم×سال Soil water tensions×potassium×year	ضریب تغییرات C.V. (%)
درجه آزادی (df)	1	6	3	3	1	1	3	3	-
پتاسیم (Potassium)	$0.14^{n.s}$	$1.6^{n.s}$	277*	7.6*	1529*	$0.03^{n.s}$	91*	11*	9.6
عملکرد (Yield)	1711*	$1.3^{n.s}$	347*	17*	$1.2^{n.s}$	$0.0^{n.s}$	8.0*	11*	6.8
قطر تاج (Diameter)	290*	4.3*	21*	$1.1^{n.s}$	$1.4^{n.s}$	$0.04^{n.s}$	$1.2^{n.s}$	$0.2^{n.s}$	9.6

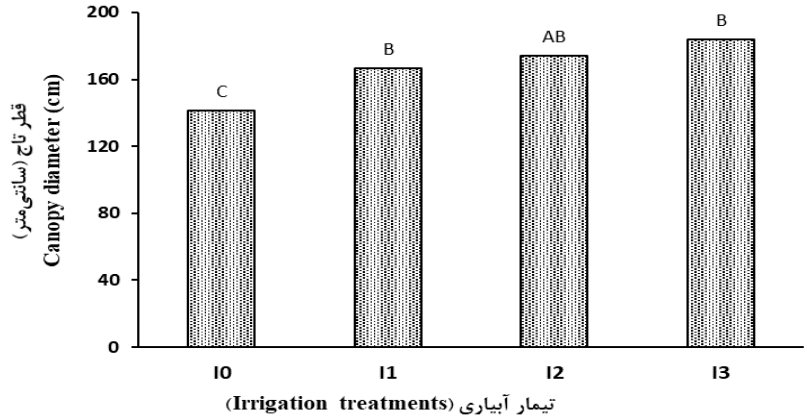
* و $^{n.s}$ به‌ترتیب F در سطح احتمال ۰/۰۵ > P معنی‌دار و یا غیرمعنی‌دار است؛ آزمایش ۱۰ سال طول کشید، اما شاخص¬های مورد نظر طی دو سال ارزیابی شدند

*, $^{n.s:}$ F is significant at $P < 0.05$ or nonsignificant, respectively; The experiment lasted for 10 years, but mentioned attributes were mesured in two years



شکل ۱- متوسط ماهیانه مقدار بارندگی و نیاز آبی پرتقال طی دوره ده ساله مورد مطالعه

Figure 1- Average monthly rainfall and citrus water requirement during the ten-year monitoring period

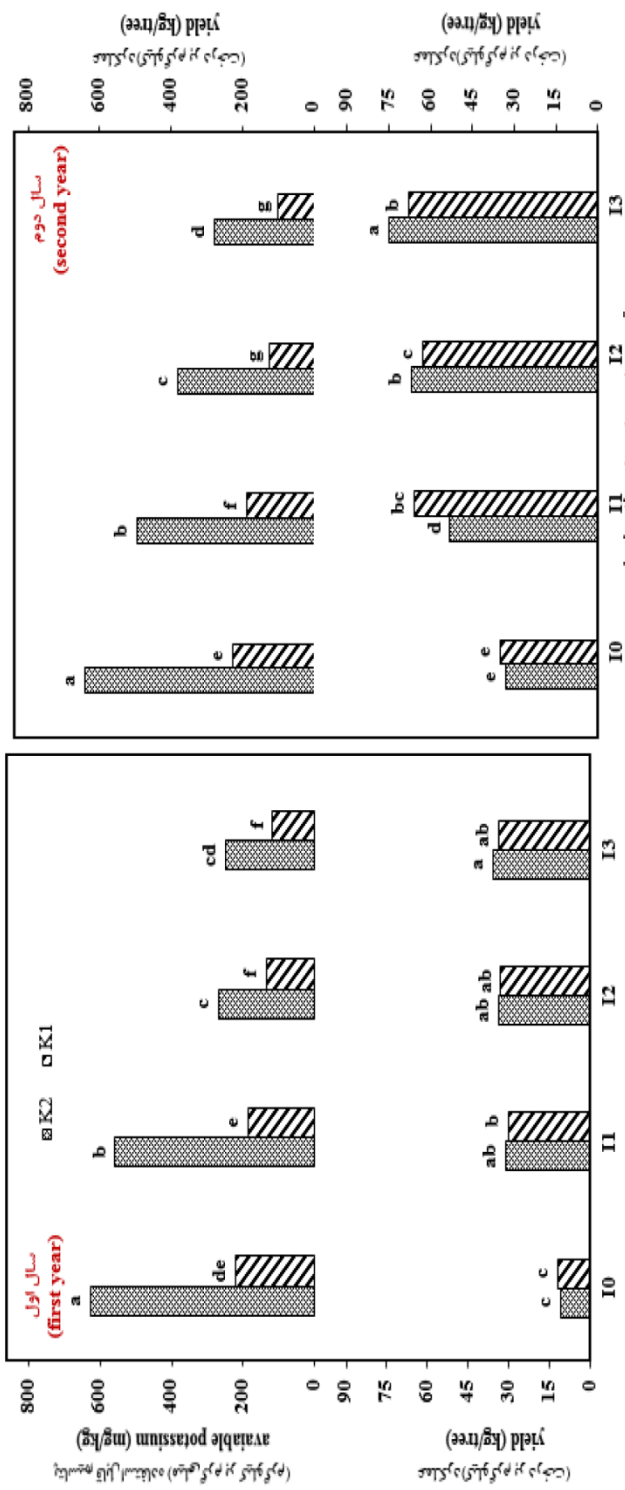


شکل ۲- اثر تیمارهای آبیاری (I_3، I_2، I_1 و I_0 به‌ترتیب آبیاری در مکش ۲۰، ۴۰، ۶۰ کیلوپاسکال و بدون آبیاری) بر قطر تاج درخت

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند؛ I0, I1, I2, I3: به‌ترتیب آبیاری در مکش‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و تیمار بدون آبیاری)

Figure 2- Effect of irrigation tratments (I_3, I_2, I_1 و I_0: irrigation at 20, 40, 60 kPa and none-irrigation) over canopy diameter
Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$. I3, I2, I1 and I0: Irrigation at 20, 40, 60 kPa and none-irrigation

بررسی نتایج اثرات متقابل سطح پتاسیم، مکش رطوبتی و سال (جدول ۳) بر عملکرد درختان حاکی از آن است که در هر دو سال مورد مطالعه در تیمار I_0K_2 کمترین مقدار عملکرد و در درختان تحت تیمار I_3K_2 بیشترین عملکرد مشاهده شد. در سال اول مطالعه حاضر با افزایش سطح کاربرد کود پتاسیم در هیچ یک از سطوح مکش آب خاک در زمان آبیاری تفاوت معنی‌داری در عملکرد مشاهده نشد. این در حالی بود که در این سال در هر دو سطح کاربرد کود پتاسیم با انجام آبیاری تکمیلی، صرف نظر از مقدار مکش در زمان آبیاری، مقدار عملکرد افزایش یافت. در سال دوم مطالعه حاضر اثر پتاسیم بر عملکرد به مقدار مکش آب خاک در زمان آبیاری بستگی داشت. در این سال، بین تیمارهای آبیاری در مکش‌های رطوبتی مختلف در هر دو سطح کاربرد کود پتاسیم تفاوت معنی‌داری با درختان آبیاری نشده مشاهده گردید و مقدار مکش رطوبتی در زمان آبیاری تأثیر معنی‌داری بر عملکرد داشت. علاوه براین، در سطح اول کاربرد پتاسیم بین عملکرد مشاهده شده در تیمارهای آبیاری I_1، I_2 و I_3 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی با دو برابر کردن پتاسیم عملکرد به طور معنی‌داری متأثر از سطح مکش رطوبتی در زمان آبیاری گردید. مورگان و همکاران (۳۱) گزارش کردند با وجود بارندگی در تابستان در خاک‌های شنی مناطق فلوریدا، آبیاری تکمیلی برای رشد و پرورش مرکبات ضروری است. در شمال ایران نیز علی‌رغم اینکه بارندگی سالیانه (۱۲۰۰ میلی‌متر) بیشتر از تبخیر–تعرق (میانگین ۷۵۰ تا ۸۵۰) است ولی آبیاری تکمیلی در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد در همه سال‌ها و اردیبهشت و شهریور در اکثر سال‌ها ضروری می‌باشد، زیرا به علت توزیع نامناسب بارندگی، تبخیر و تعرق در این ماه‌ها که متقارن با مراحل آخر تقسیم سلولی میوه و نمو سلول‌های میوه می‌باشد (۲۹)، بیشتر از بارندگی است.



شکل ۳- پتاسیم قابل استفاده و عملکرد درختان پرتقال تامسون‌ناول طی دو سال نمونه‌برداری تحت اعمال تیمارهای مختلف آبیاری و کوددهی.

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند؛ I0، I1، I2، I3: به‌ترتیب آبیاری در مکش‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و بدون آبیاری و K1 ، K2: مقدار ۵۰ و ۱۰۰ گرم پتاسیم برای هر درخت.

Figure 3- Available potassium and yield per Thomson-Navel orange tree during two sampling years of different irrigation and fertilization treatments

Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$. I3, I2, I1 and I0: Irrigation at 20, 40, 60 kPa and none-irrigation and K1, K2: 50 and 100 g potassium per tree

نتایج تجزیه واریانس اثر کاربرد تیمار های پتاسیم و مکش رطوبتی خاک در زمان آبیاری در سال آخر پژوهش بر مقدار کلروفیل، نشت یونی، پرولین در برگ درختان پرتقال و نیز مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک تحت تیمارهای ذکر شده، در جدول ۴ آورده شده است. لازم به ذکر است که اثر بلوک در پژوهش حاضر معنی‌دار نشد. همان‌طور که در جدول ۴ ملاحظه می‌شود اثر مکش آب خاک بر مقدار کلروفیل، نشت یونی، پرولین برگ پرتقال و نیز مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک و اثر سطح پتاسیم بر نشت یونی، پرولین برگ پرتقال و مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. هم‌چنین بررسی نتایج نشان داد اثر متقابل مکش آب خاک و پتاسیم بر نشت یونی، پرولین برگ پرتقال و نیز مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک معنی‌دار بود. بنابراین، نشت یونی، پرولین برگ و نیز مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک تابعی از پتاسیل آب خاک و پتاسیم می‌باشند. این درحالی است که مقدار کلروفیل برگ پرتقال تنها متاثر از پتاسیل آب خاک در زمان آبیاری است.

همان‌طور که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود تنها اثر سال و مکش آب خاک بر قطر تاج درختان پرتقال معنی‌دار بود. بنابراین اثر مکش آب خاک بر این شاخص به سطح کاربرد پتاسیم بستگی نداشت و اثر مکش آب خاک بر قطر تاج درختان در شکل ۲ آورده شده است. بررسی نتایج نشان داد که کمترین مقدار قطر تاج در تیمار I_0 و بیشترین قطر تاج در درختان تحت تیمار I_3 مشاهده شد. قطر تاج این درختان با انجام آبیاری تکمیلی افزایش نشان داد. طبق مطالعات گذشته تنش آبی اثری منفی بر عملکرد مرکبات داشته و رشد رویشی درخت را کاهش می‌دهد (۸، ۱۹ و ۴۰). با کاهش رشد رویشی درختان پرتقال تامسون‌ناول رقابت بر سرتولیدات فتوسنتزی بین بخش‌های رویشی و زایشی کاهش می‌یابد (۸). این کاهش رشد می‌تواند منجر به کاهش مهمی در هزینه‌های مربوط به مدیریت تولید شامل هرس، آب و انرژی گردد (۳۸). کاهش در رشد رویشی به عنوان یک سازوکار سازگاری درختان با شرایط تنش خشکی در نظر گرفته می‌شود. این سازگاری منجر به جذب تشعشع کمتر توسط درخت و به دنبال آن کاهش از دست رفت آب از طریق تبخیر و تعرق می‌گردد (۲۳).

طبق تحقیقات انجام شده در خاک‌های شنی ایالت فلوریدا، اگر درختان پرتقال هاملین پیوند شده بر کلئوپاتراماندارین در مکش‌های رطوبتی بین ۱۰ تا ۱۵ کیلوپاسکال آبیاری شوند رشد بیشتری خواهند داشت (۳۷)، اما نتایج این پژوهش نشان داد که با انجام آبیاری تکمیلی صرف نظر از اینکه مکش آب خاک در زمان آبیاری ۲۰، ۴۰ و یا ۶۰ باشد، قطر تاج درختان تامسون‌ناول افزایش می‌یابد که این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت در بافت خاک، پایه و رقم در این دو مطالعه باشد. لذا در باغ‌هایی که خاک دارای بافت رسی است، آبیاری در زمانی‌که مکش رطوبتی خاک به ۶۰ کیلوپاسکال می‌رسد، قابل توصیه است.

جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف آبیاری و کوددهی بر هدایت الکتریکی خاک، مقدار کلروفیل، نشت یونی و پرولین برگ درختان پرتقال تامسون ناول

Table 2. Results of analysis of variance (ANOVA) effects of different irrigation and fertilizer treatments over soil electrical conductivity, chlorophyll content, ion leakage and proline content of Thomson Novel orange leaves

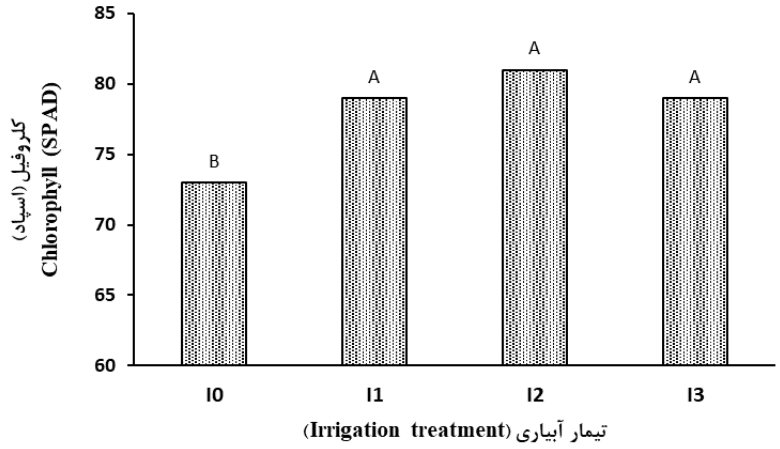
ویژگی Attribute	مکش آب خاک Soil water tensions	سطح پتاسیم Potassium level	مکش آب خاک×پتاسیم Soil water tensions×potassium	ضریب تغییرات C.V. (%)
درجه آزادی df	3	1	3	-
هدایت الکتریکی Electrical conductivity	47*	116*	11*	17
کلروفیل Chlorophyll	14*	0.00 $^{n.s}$	1.24 $^{n.s}$	3.4
نشت یونی Ionic leakage	3.5*	38*	2.8*	13
پرولین Proline	9.1*	14*	1.6*	16

* و n.s به‌ترتیب F در سطح احتمال $P<0.05$ معنی‌دار و یا غیرمعنی‌دار است؛

*, n.s: F is significant at $P < 0.05$ or nonsignifican, respectively

همان‌طور که ذکر شد تنها اثر مکش آب خاک بر کلروفیل برگ درختان پرتقال معنی‌دار بود (جدول ۴). نتایج نشان داد، افزایش کاربرد پتاسیم اثر معنی‌داری بر مقدار کلروفیل برگ نداشته است (جدول ۴)، این درحالی بود که صرف‌نظر از مقدار پتاسیم کاربردی، مقدار کلروفیل برگ با انجام آبیاری تکمیلی حتی در تیمار I_1 افزایش یافت (شکل ۴). بنابراین، مقدار کلروفیل برگ به انجام آبیاری تکمیلی وابسته است. طبق گزارش ایکسی و همکاران (۴۷) تحت تنش‌های خشکی در مرکبات مقدار کلروفیل a در مقایسه با کلروفیل b راحتر و سریعتر تخریب می‌شود. بنابراین به دنبال تنش رطوبتی در پرتقال نسبت کلروفیل a به b کاهش یافته و رنگ برگ سبز روشن‌تر شده و

کلروفیل‌متر عدد کوچکتری را نشان می‌دهد. کاهش مقدار کلروفیل به دنبال تنش رطوبتی احتمالاً به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز (۱۵) و کاهش جذب کل عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن و منیزیم به دنبال تنش رطوبتی می‌باشد. کاهش کلروفیل در درختان مرکبات (۱۳ و ۴۷)؛ درختان سیب (۵) در پاسخ به تنش خشکی گزارش شده است. بنابراین، با توجه به نتایج مقدار کلروفیل هیچ کدام از تیمارهای دارای آبیاری تکمیلی دچار تنش نشده‌اند.



شکل ٤- اثر تیمارهای آبیاری (I_3، I_2، I_1 و I_0 به‌ترتیب آبیاری در مکش ۲۰، ٤۰، ٦۰ کیلوپاسکال و تیمار بدون آبیاری) بر کلروفیل برگ

میانگین‌های دارای حرف مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند

Figure 4- Effect of irrigation tratments (I_3, I_2, I_1 و I_0: irrigation at 20, 40, 60 kPa and none-irrigation) over chlorophyll content of leaves

Means with the same letter are not significantly different at $P < 0.05$.

بررسی نتایج اثرات متقابل سطح پتاسیم و مکش رطوبتی (جدول ۵) بر مقدار پرولین برگ پرتقال نشان داد با دو برابر کردن مقدار کود پتاسیم و افزایش مکش آب در زمان آبیاری، مقدار پرولین افزایش معنی‌داری نشان داد. نتایج نشان داد که کمترین مقدار پرولین در تیمار I_3K_1 و بیشترین مقدار پرولین در تیمار I_0K_2 مشاهده شد. در واقع همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌گردد، با انجام آبیاری تکمیلی مقدار پرولین کاهش یافته ولی بین تیمارهای انجام آبیاری در مکش‌های رطوبتی مختلف از لحاظ مقدار پرولین تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. بررسی منابع نشان داد اسید آمینه پرولین با اعمال تنش خشکی شامل توقف آبیاری برای نه روز در نهال‌های شش ماهه (۱۶)؛ نگهداشت رطوبت خاک در حد ۲۰ درصد ظرفیت زراعی به مدت پنج روز برای نهال‌های دو ساله (۲۸) و توقف آبیاری به مدت ده روز برای نهال‌های یک‌ساله (۴۹) در گیاه تجمع می‌یابد و منجر به افزایش فشار اسمزی بافت گیاه می‌شود. علاوه براین، همان‌طور که در پژوهش حاضر مشاهده می‌شود با افزایش سطح کاربرد پتاسیم به ویژه در تیمار آبیاری I_3، مقدار پرولین در برگ افزایش یافته است. بررسی منابع نشان می‌دهد وقتی مقدار پتاسیم گیاه کافی و مناسب باشد، به دلیل افزایش ترکیبات آلی مانند پرولین و افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، اثرات منفی تنش‌های خشکی کاهش می‌یابد (۲۴). بنابراین، با توجه به نتایج مقدار پرولین هیچ کدام از تیمارهای دارای آبیاری تکمیلی دچار تنش نشده‌اند.

بررسی نتایج نشان داد با دو برابر کردن مقدار کود پتاسیم نشت یونی کاهش معنی‌داری نشان داد. علاوه براین با افزایش مکش رطوبتی خاک (تیمارهای I_0 و I_1)، مقدار نشت یونی افزایش یافت. بررسی اثرات متقابل سطح پتاسیم و مکش رطوبتی خاک نشان داد که بیشترین نشت یونی در تیمار I_0K_1 (۲۷ درصد) و کمترین مقدار نشت یونی در I_3K_2 (۱۷ درصد) و I_2K_2 (۱۶ درصد) مشاهده شد. همان‌طور که در پژوهش حاضر مشاهده می‌شود با افزایش سطح کاربرد پتاسیم به ویژه در مواقعی که مکش رطوبتی خاک در زمان آبیاری>۴۰ کیلوپاسکال باشد، منجر به افزایش پایداری غشا و به دنبال آن کاهش نشت یونی می‌گردد. با توجه به نتایج شاخص‌های کلروفیل، مقدار پرولین و نشت یونی انجام آبیاری تکمیلی باعث کاهش تنش و بهبود شاخص‌های بررسی شده در درختان مورد مطالعه شده هر چند بین تیمارهای آبیاری تکمیلی در مکش‌های ۶۰، ۴۰ و ۲۰ تفاوت معنی‌داری مشاهده نشده است. به عبارت دیگر، با در نظر گرفتن این شاخص‌ها هیچ کدام از تیمارهای دارای آبیاری تکمیلی دچار تنش نشده‌اند. علاوه براین با توجه به نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی و رفع آسیب اکسایشی، به نظر می‌رسد، افزایش مقدار کاربرد کود پتاسیم تنها در فواصل آبیاری کم و متوسط آبیاری تأثیر معنی‌داری بر مقدار پرولین و نشت یونی داشته است.

جدول ۵- قابلیت هدایت الکتریکی خاک و نیز مقدار نشت یونی و پرولین در برگ پرتقال تامسون‌ناول تحت اعمال تیمارهای مختلف آبیاری و کوددهی

Table 5- electrical conductivity and also ionic leakage and prolin content of Thomson Novel orange leaves of different irrigation and fertilization treatments

تیمارهای آبیاری Irrigation treatments	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر) EC (dS/m)			نشت یونی (درصد) Ionic leakage (%)			پرولین (میکروگرم بر گرم) Proline (µg/g)		
	K2	K1	میانگین (Mean)	K2	K1	میانگین (Mean)	K2	K1	میانگین (Mean)
I_0	0.58Aa	0.29Ab	0.44A	22Aa	27Aa	24A	102Aa	90Aa	96A
I_1	0.49Ba	0.21Bb	0.35B	20Aa	25Aa	23AB	84Ba	66Ba	75B
I_2	0.32Ca	0.16Bb	0.24C	16Bb	26Aa	21B	75Ba	64Ba	69B
I_3	0.17Da	0.13Ba	0.15D	17Bb	23Aa	20B	80Ba	56Bb	68B
میانگین (Mean)	0.39a	0.20b	-	19b	25a	-	85a	69b	-

در هر ستون میانگین‌های دارای حرف بزرگ مشترک و در هر ردیف میانگین‌های دارای حرف کوچک مشترک تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵٪ ندارند؛

I0, I1, I2, I3: به‌ترتیب آبیاری در مکش‌های ۲۰، ۴۰، ۶۰ و بدون آبیاری و K2, K1: مقدار ۵۰ و ۱۰۰ گرم پتاسیم برای هر درخت

Means within a column with the same large letter and means within a row with the same small letter are not significantly different at $P < 0.05$;

I3, I2, I1 and I0: Irrigation at 20, 40, 60 kPa and none-irrigation and K1, K2: 50 and 100 g potassium per tree

مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در تیمار ۱۰۰ گرم پتاسیم برای هر درخت (۰/۳۹ دسی‌زیمنس بر متر) به طور معنی‌داری بیشتر از تیمار ۵۰ گرم پتاسیم برای هر درخت (۰/۲۰ دسی‌زیمنس بر متر) بود. صرف‌نظر از سطح کاربرد کود پتاسیم، با افزایش مکش رطوبتی خاک در زمان آبیاری مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک افزایش نشان داد. به هر حال، با انجام آبیاری تکمیلی، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی کاهش یافته است. بررسی اثرات متقابل سطح پتاسیم و مکش آب در خاک نشان داد که بیشترین قابلیت هدایت الکتریکی خاک در تیمار I0K2 (۰/۵۸ دسی‌زیمنس بر متر) و کمترین مقدار این شاخص در تیمار I3K1 (۰/۱۳ دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد. نتایج نشان داد، در سطح اول کاربرد پتاسیم بین قابلیت هدایت الکتریکی عصاره خاک مشاهده شده در تیمارهای آبیاری I1، I2 و I3 تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد ولی با دو برابر کردن پتاسیم، قابلیت هدایت الکتریکی عصاره خاک به طور معنی‌داری با افزایش مکش رطوبتی خاک (تیمار I3 به سمت I1) در زمان آبیاری به دلیل نبود آب کافی برای شستشوی پتاسیم از ناحیه ریشه، افزایش نشان داد. علاوه براین، با دو برابر کردن مقدار پتاسیم در تیمارهای مختلف اعمالی آبیاری با استثنا تیمار آبیاری I3، مقدار قابلیت هدایت الکتریکی خاک به‌طور معنی‌داری افزایش یافت هرچند مقدار این افزایش متفاوت بود. به‌طور کلی، تغییرات قابلیت هدایت الکتریکی خاک به مکش آب در خاک در زمان آبیاری و سطح کاربرد کود پتاسیم بستگی دارد. کاربرد کود معدنی سولفات پتاسیم با توجه به ضریب شوری این کود (۳۳) در خاک تا اندازه‌ای منجر به افزایش فشار اسمزی ناحیه ریشه پرتقال گشته و در نتیجه مقدار قابلیت هدایت الکتریکی در این ناحیه را افزایش خواهد داد.

به‌طور کلی، همان‌طور که قبلاً نیز ذکر شد در سطح اول پتاسیم با افزایش مکش رطوبتی خاک از ۲۰ به ۶۰ کیلوپاسکال، بین مقدار کلروفیل، نشت یونی، مقدار پرولین در برگ درختان بررسی شده (جدول ۵) و مقدار هدایت الکریکی در محیط ریشه‌ی این درختان (جدول ۵) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و این موضوع به همراه عدم مشاهده کاهش معنی‌دار عملکرد در تیمارهای ذکر شده، نشان‌دهنده‌ی عدم وقوع تنش با افزایش مکش رطوبتی خاک از ۲۰ به ۶۰ کیلوپاسکال در سطح اول کاربرد کود پتاسیم می‌باشد. در سطح دوم پتاسیم با افزایش مکش رطوبتی خاک از ۲۰ و ۴۰ به ۶۰ کیلوپاسکال، نشت یونی و مقدار هدایت الکتریکی در ناحیه ریشه به‌طور معنی‌داری افزایش یافته و مقدار عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش یافته است. نتیجه‌ی فوق حاکی از برروز تنش در درختان مورد بررسی با افزایش مکش از ۲۰ و ۴۰ به ۶۰ کیلوپاسکال در سطح دوم کاربرد کود پتاسیم می‌باشد. به‌هرحال، با دو برابر کردن مقدار کاربرد پتاسیم در درختان پرتقال آبیاری شده در مکش‌های ۲۰ و ۴۰ کیلوپاسکال می‌توان عملکرد و شاخص‌های نشت یونی و مقدار پرولین را بهبود بخشید. این درحالی بود که با دو برابر کردن پتاسیم در درختان آبیاری شده در مکش رطوبتی ۶۰ کیلوپاسکال و تیمار بدون آبیاری، مقدار عملکرد به‌طور معنی‌داری کاهش نشان داده است.

بنابراین، نتایج پژوهش حاضر نشان داد که افزایش کاربرد کود پتاسیم در خاک طی دوره خشکی ناشی از فواصل آبیاری زیاد (آبیاری در مکش ۶۰ کیلوپاسکال) و یا تحت شرایط بدون آبیاری تکمیلی، می‌تواند اثرات منفی خشکی بر رشد پرتقال را تشدید کند. زیرا همان‌طور که قبلا ذکر شد، افزایش دو برابری کاربرد کود معدنی پتاسیم منجر به افزایش فشار اسمزی و قابلیت هدایت الکتریکی ناحیه ریشه پرتقال و در نتیجه کاهش عملکرد خواهد شد. در واقع با دو برابر کردن مقدار کاربرد پتاسیم در مکش آب در خاک ۶۰ کیلوپاسکال، مقدار تنش خشکی به دلیل شوری ناشی از کاربرد کود پتاسیم و نبود آب کافی برای شستشوی املاح از ناحیه توسعه ریشه درخت، تشدید شده و مقدار عملکرد کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

بارندگی، منبع اصلی تأمین آب برای درختان مرکبات در مناطق شمالی کشور می‌باشد. به‌دلیل توزیع نامنظم بارندگی طی فصل رشد، انجام آبیاری تکمیلی در این مناطق برای دستیابی به عملکرد بهینه ضروری است. با توجه به نقش پتاسیم در تنظیم اسمزی و رفع آسیب اکسایشی، این عنصر می‌تواند در بهبود عملکرد و رشد درختان در شرایط آبیاری در مکش ۲۰ و ۴۰ کیلوپاسکال نقش موثر داشته باشد، اما در مکش آب در خاک۶۰ کیلوپاسکال، نه تنها با دو برابر کردن کاربردکود پتاسیم افزایشی در عملکرد مشاهده نشد بلکه عملکرد کاهش نیز یافته است. بنابراین با توجه به اینکه بین مقدار عملکرد حاصله در سطوح تیمارهای مکش آبیاری ۲۰، ۴۰ و ۶۰ کیلوپاسکال در سطح اول کاربرد کود پتاسیم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد و نیز با در نظر گرفتن این موضوع که با دو برابر کردن کاربرد کود پتاسیم در سطوح آبیاری در ۲۰ و ۴۰ کیلوپاسکال افزایش عملکرد چندانی (به ترتیب ۱۰ و ۶ درصد در سال آخر پژوهش) مشاهده نگردیده، بنابراین با توجه به مشکلات ناشی از بحران آب، به نظر می‌رسد با آبیاری در مکش ۶۰ و مقدار کاربرد ۵۰ گرم پتاسیم ضربدر سن به ازای هر درخت پرتقال می‌توان هم به عملکرد مناسب دست یافت و هم در جهت حفظ منابع آبی تلاش نمود.

منابع

1- Anonymous. 2015. Agricultural Statistical. Ministry of Agricultural Jihad, Department of Planning and Economy, Center for Information and Communication Technology, Tehran, Iran. (In Persian)
2- Asadi Kangarshahi A., and Akhlaghi Amiri N. 2015. Advanced and applied citrus nutrition. Agricultural Education and Extension. (In Persian)
3- Bates L., Waldren R., and Teare I. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil, 39: 205-207.
4- Blum A. 1996. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. Plant Growth Regulation, 20: 33-45.
5- Bolat M., Dikilitas S., Ercisli A.I., kinci A., and Tonkaz T. 2014. The effect of water stress on some morphological, physiological, and biochemical characteristics and bud success on apple and quince rootstocks. Scientific World Journal, 4: 769-732
6- Boman B.J., Obreza T.A., and Morgan K.T. 2008. Citrus best management practices: fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. Proceedings of the International Society of Citriculture, 1: 573–578.
7- Bremner J.M. 1996. Nitrogen-total. p. 1085-1121. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
8- Carlos B.L. 2013. Regulated deficit irrigation in citrus: agronomic response and water stress indicators. Ph.D. thesis, Polytechnic University of Valencia. Valencia, Spain.
9- Creighton J., Sleeper D.A., and Hubbard C. 1989. Tensiometers for irrigation scheduling in a florida citrus grove. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 102: 69-72.
10- Delauney A.J., and Verma D.P.S. 1993. Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. The Plant Journal, 4: 215-223.
11- Ebadi H. 2011. Effect of water different levels of micro irrigation on quality and yield fruit of Thomson navel orange in the west of Mazandaran. Final report. Iran Citrus Research Institute. (In Persian with English abstract)
12- Fayez Kh.A., and Bazaid S.A. 2014. Improving drought and salinity tolerance in barley by application of salicylic acid and potassium nitrate. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, 13: 45-55.
13- Fifaei R., Fotouhi Ghazvini R., Golein B., and Hamidoghli Y. 2016. Effect of drought stress on proline, soluble sugars, malondialdehyde and pigments content in northern commercial Citrus rootstocks. Journal of Crops Improvement, 17: 939-952. (In Persian with English abstract)
14- Ford H. 1972. Eight years of root injury from water table fluctuations. Proceedings of the Florida State

Horticultural Society, 85: 65-68.
15- Garcia A.L., Torreclllas A., Leon A., and Ruiz-Sunches M.C. 1987. biochemical Indicators of the Water Stress in Maize Seedlings. Biologia Plantarum, 29: 45-48.
16- Garcia-Sanchez F., Syvertsen J.P., Gimeno V., Botía P., and Perez-Perez J.G. 2007. Responses to flooding and drought stress by two citrus rootstock seedlings with different water-use efficiency. Physiologia Plantarum, 130: 532–42.
17- Gee G.H., and Bauder J.W. 1986. Particle size analysis. p. 383-409. In: A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 2, physical properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
18- Gimeno V., Díaz-Lopez L., Simon-Grao S., Martínez V., Martínez-Nicolas J.J., and García-Sanchez F. 2014. Foliar potassium nitrate application improves the tolerance of *Citrus macrophylla* L. seedlings to drought conditions. Plant Physiology and Biochemistry, 83: 308-315.
19- Gonzalez-Altozano P., and Castel J.R. 1999. Regulated deficit irrigation in'Clementina de Nules' citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 74: 706–713.
20- Gonzalez-Altozano P., and Castel J.R. 2000. Regulated deficit irrigation in "Clementina de Nules" citrus trees. II. Vegetative growth The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 75: 388–392.
21- Helmke Ph.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. p. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
22- Hilgeman R.H., and Sharp F.O. 1970. Response of Valencia orange trees to four soils water schedules during 20 years. Journal of American Society of Horticulture Science, 95: 739 -745.
23- Hsiao T.C. 1973. Plant responses to water stress. Annual Review of Plant Biology, 24: 519-570.
24- Khammari I., Galavi M., Ghanbari A., Solouki M., and Poorchaman M.R.A. 2012. The effect of drought stress and nitrogen levels on antioxidant enzymes, proline and yield of Indian Senna (*Cassia angustifolia* L.). Journal of Medicinal Plants Research, 11: 2125-2130.
25- Khoshbakht D., Akbar Ramin A., and Baninasab B. 2014. Citrus Rootstocks Response to Salinity: Physio-biochemical Parameters Changes. Research Journal of Environmental Sciences, 8: 29-38.
26- Lei Y.B., Yin C.Y., and Li C.Y. 2006. Differences in some morphological, physiological, and biochemical responses to drought stress in two contrasting populations of *Populus przewalskii*. Physiologia Plantarum, 127: 182-191.
27- Loeppert R.H., and Sparks D.L. 1996. Carbonate and gypsum. p. 437-474. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
28- Malik N.S.A., Perez J. L., Kunta M., Patt J.M., and Mangan R.L. 2014. Changes in free amino acids and polyamine levels in Satsuma leaves in response to Asian citrus psyllid infestation and water stress. Insect Science, 21: 707-716.
29- Mahdavi Reykande J., Akhlaghi Amiri N., and Shahabian M. 2013. Analyzing phenological stages of three citrus varieties at foothills, plain and shoreline areas of Sari in North of Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 6: 452-457.
30- Mooreand K.J., and Dixon Ph.M. 2015. Analysis of Combined Experiments Revisited. Agronomy Journal, 107: 763-771.
31- Morgan K.T., Obreza T.A, and Wheaton T.A. 2006. Size, biomass and nitrogen relationships with sweet orange tree growth. Journal of the American Society for Horticultural Science, 131: 149-156.
32- Morgan K.T, Obreza T.A., and Scholberg J.M.S. 2007. Orange tree fibrous root length distribution in space and time. Journal of the American Society for Horticultural Science, 132: 262-269.
33- Murray T.P., and Clapp J.G. 2004. Current fertilizer salt index tables are misleading. Communications in Soil Science and plant Analysis, 35: 2867-2873.
34- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total carbon organic carbon and organic matter. p. 961-1011. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
35- Obreza T., and Morgan K.T. 2011. Nutrition of Florida Citrus Trees. University of Florida, IFAS Extension.
36- Olsen, S.R., and Sommers L.E. 1984. Phosphorus. p. 403-430. In A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis. Part1, chemical and biological properties. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
37- Paramasivam, S., Alva A.K., and Fares A. 2000. An evaluation of soil water status using tensiometers in a sandy soil profile under citrus production. Journal of Soil Science, 165: 345-353.
38- Pérez-Pérez J.G., García J., Robles J.M., and Botía P. 2010. Economic analysis of navel orange cv. 'Lane Late' grown on two different drought-tolerant rootstocks under deficit irrigation in South-eastern Spain. Agricultural Water Management, 97:157-164.
39- Rhoades J.D. 1996. Salinity Electrical conductivity and total dissolved solids. p. 417-437. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3, chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
40- Romero P., Navarro J.M., Perez-Perez J., Garcia-Sanchez F., Gomez-Gomez A., Porras I., Martinez V., and Botia P. 2006. Deficit irrigation and rootstock: their effects on water relations, vegetative development, yield, fruit

quality and mineral nutrition of *Clemenules mandarin*. Tree Physiology, 26: 1537–1548.
41- Sanchez C.A., Wilcox M., Wright G.C., and Brown P. 1996. Efficient Irrigation and N Management for Lemons: Results for 1993-1996. Citrus Research Report, 22-44.
42- Skogley E.O., and Haby V.A. 1981. Soil Science Society of American Journal, 45:533-536.
43- Spiegel-Roy P., and Goldschmidt E.E. 1996. Biology of Citrus. Cambridge University Press.
44- Smajstrala A.G., and Koo R.C.J. 1985. Effects of trickle irrigation methods and amounts of water applied on citrus yield. Proceedings of the Florida State Horticultural Society, 97: 3-7.
45- Srivastava A.K., Shirgure P.S., and Shyam S. 2003. Differential fertigation response of Nagpur mandarin (*Citrus reticulate Balanco*) on an alkaline Inceptisol under sub-humid tropical climate. Tropical Agriculture, 80: 97–104.
46- Thomas G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. p. 475-491. In D.L. Sparks (ed.) Methods of Soil Analysis. Part 3 chemical methods. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin.
47- Xie Sh., Liu Q., Xiong X., and Lovatt C.J. 2012. Effect of water stress on citrus photosynthetic characteristics. Acta Horticulturae, 928: 315-322
48- Yan B., Dai Q., Liu X., Huang S., and Wang Z. 1996. Flooding-induced membrane damage, lipid oxidation and activated oxygen generation in corn leaves. Plant Soil, 179:261-268.
49- Zandalinas S.I., Rivero R.M., Martinez V., Gomez-Cadenas A., and Arbona V. 2016. Tolerance of citrus plants to the combination of high temperatures and drought is associated to the increase in transpiration modulated by a reduction in abscisic acid levels. Plant Biology, 16:1-16.

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 5, Nov.-Des. 2018, p. 961-975

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۵، آذر – دی ۱۳۹۷، ص. ۹۷۵-۹۶۱

Soil Water Potential and Potassium Application Effects on Yield and Biochemical Characteristics of Thomson Navel Orange (*Citrus sinensis* L. Osbeck.)

T. Raiesi[1]*- B. Moradi[2]- B. Golein[3]

Received: 17-02-2018
Accepted: 23-07-2018

Introduction: Citrus is the main fruit group grown in tropical as well as sub-tropical climate of more than 150 countries in the world. In Iran, the total area under citrus crops is 0.284 M ha with a production of 4.345 M ton and a productivity of 17 ton per ha. Citrus is also one of the most important horticultural products in Mazandaran, with 112,000ha devoted to its cultivation. Drought stress is frequent in Iran and is common in the dry summer periods in Mazandaran. Therefore, irrigation is essential during mentioned periods in this province. Irrigation scheduling and water requirement of the citrus crops are one of the main concerns of the citrus fruit production. Irrigating based on soil water potential (tensiometer) is one of the irrigation scheduling methodologies. In addition, fertilization is used to promote quantity and quality of fruit production. Potassium has a key role in the osmotic adjustment of plants and alleviate the effects of drought stress. Until now, studies on citrus to evaluate the effects of potassium fertilization to mitigate the negative effects of drought stress have not been conducted. In the present study, we hypothesised that K applications via soil could contribute to osmotic adjustment of citrus and alleviate the effects of drought stress. Thus, the objective of the present study was to evaluate the effects of different soil water potential and rate of potassium (K) application on biochemical indices and growth responses of Thomson navel (Citrus, *sinensis* (L.) *osbeck*) orange seedlings on Citrumelo rootstock.

Materials and Methods: This study site was located at the Citrus and Subtropical Fruit Research Center of Horticultural Science Research Institute (36°54′11″N, 50°39′30″E), with a mean annual rainfall of 1200 mm. Thomson navel trees (Citrus, *sinensis* (L.) were planted at 7 × 6m distances. Soil had a pH (soil-to-water suspension ratio of 1:2) of 6.2 and contained 14.3 g kg^{-1} organic C and $CaCO_3$<1%. The texture of soil was clay loam. A two-year field study was conducted in a factorial experiment based on randomized complete block design with four selected ranges of soil water potential, two levels of K application, and four replicates. Irrigations were scheduled using soil moisture tensiometers. The irrigation treatments were scheduled when soil water tensions reached 20, 40, and 60 kilopascal (kPa) on the tensiometers per treatment and results were compared with control (none irrigation) treatment. Soil water tensions of 20, 40, and 60 kPa correspond to soil water depletions of 17, 35, and 52%, respectively, of the available soil water for the studied soil. Levels of K fertilizer were 50 (k_1) and 100 (K_2) g K × age of tree. Potassium fertilizer was broadcast below the tree canopy in March. At the end of each year, yield, available K and some growth indices were measured. In addition, in the last year, proline, ionic leakage and electrical conductivity were also measured. All data were represented as mean of four replicates. Differences in yield, canopy diameter and available K among fertilizer and irrigation treatments and sampling years were analyzed using general linear model two-way analysis of variance (ANOVA) in SAS 9.1. Since the mentioned attributes were measured during two years to take into account annual variation, we used ANOVA procedure for a combined analysis of data. The significance of differences between the mean of treatments were determined by using Duncan test. All the statistical analyzes were performed by SAS 9.2.

Results and Discussion: The results showed that irrigation increased the canopy diameter ($P<0.05$). Under K_1 application, the tree yield was not significantly different ($P\geq0.05$) between irrigation at different water potentials (I_1, I_2 and I_3). However, the K effects on tree yield depended on soil water potential and the positive effects of K_2 application were evident only in the I_2 and I_3 treatments. However, K_2 application reduced the yield in irrigation treatments including I_0 and I_1 significantly ($P<0.05$) compared with K_1 application. In addition, the results of the last year showed that proline and ionic leakage were increased ($P<0.05$) by reduce of water potential in irrigation time. However, double application of K (K_2) increased ($P<0.05$) proline and decreased

1, 2 and 3- Assistant Professor, Instructor and Associate Professor of Citrus and Subtropical Fruit Research Center, Horticultural Science Research Institute, Agricultural Research and Education Organization (AREO), Ramsar, Respectively
(*- Corresponding Author Email: taraiesi@gmail.com)

ionic leakage as compared with normal application of K (K_1). Moreover, available K and electrical conductivity were increased ($P<0.05$) by excessive application of K and reduce of soil water potential.

Conclusion: In summary, regarding this experiment, irrigation at 60 kPa (depletion coefficient =52%) and potassium application rate of 50 g K × age of tree was the best treatment.

Keywords: Citromelo, Ionic leakage, Irrigation, Potassium fertilizer, Proline, Tensiometer, Yield