Potassium Fertilization in Citrus Orchards

A. Asadi Kangarshahi*and N. Akhlaghi Amiri

Associate Professor of Soil and Water Research Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran.**kangarshahi@gmail.com**

Assistant professor of Agronomy and Horticultural Science Department, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sari, Iran. **neginakhlaghi@yahoo.com**

Received: November 2023 and Accepted: July 2024

Abstract

This study was conducted to evaluate potassium fertilization management on citrus orchards as an effort to gain a better understanding of the potassium requirement, amount of fertilization, and proper timing of potassium application as well as potassium uptake and transfer in citrus trees. The findings can be effectively employed in formulating horticultural recommendations toward optimized potassium application. On average, mature citrus trees contain 300 to 750 kg/ha of K, 15 to 20 percent of which is found in the leaves and 45 to 60 percent in the fruits. Long-term citrus fertilization experiments in Iran and elsewhere have revealed that around 50 to 200 kg/ha of potassium as K_2O is annually needed to achieve sustainable production, improved fruit yield and quality, and proper tree growth and health. Around 50-70% of this amount is consumed in fruits, about 5% deposited in tree structure and organs, and the balance between the potassium absorbed and that consumed is made up by absorption and desorption reactions at soil exchange surfaces. Studies in the past have shown that the highest K-requirement and K-uptake rate in citrus trees belong to the period from June drop to fruit maturation (i.e., the second stage of fruit growth) but that the lowest uptakes are observed during minimum activity (i.e., in the winter), at the beginning of the growing season, and after harvesting. The potassium stored in older tissues, therefore, plays the greatest role in the growth and development of leaves, branches, flowers, and fruits during the early growing season (i.e., the beginning of twig growth, flowering, and fruit setting) when potassium uptake from the soil is still at its lowest. Like the tree potassium reserves, foliar application of potassium fertilizers will, therefore, play an important role in regulating the supply of potassium to the newly growing and developing organs, especially at the beginning of the growing season. The purpose of potassium fertilizer application is, therefore, to ensure sustainable production, enhanced tree performance, improved fruit storage, and reduced fruit physiological disorders. Obviously, application of potassium fertilizer to soil prior to flowering and fruit setting has been found to have no effects on the development of spring twigs, nor on the current year flowering or fruit setting. It may, therefore, be recommended that producers should stop soil application of fertilizers before flowering and fruit setting, but start K application (percentage of the annual requirement) from the middle to the end of the first stage and gradually increase it to its maximum during the second stage of fruit maturation.

Keywords: Fruit growth phenology, K fertilizers, K nutrition, K requirement

*- Corresponding author's email: **kangarshahi@gmail.com**
https://doi.org/10.22092/lmj.2024.363801.345

نشریه علمی مدیریت اراضی/ جلد ۱۲ / شماره ۱ / ۱۴۰۳. ص۵۷-۸۰
https://doi.org/10.22092/lmj.2024.363801.345

کوددهی پتاسیم در باغ‌های مرکبات

علی اسدی کنگرشاهی* و نگین اخلاقی امیری

دانشیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران. **kangarshahi@gmail.com**

استادیار بخش علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری، ایران.**neginakhlaghi@yahoo.com**

دریافت: آبان ۱۴۰۲ و پذیرش: تیر ۱۴۰۳

چکیده

هدف از این بررسی، ارزیابی مدیریت کوددهی پتاسیم برای درختان مرکبات بود. این ارزیابی می‌تواند به شناخت بهتر نیاز پتاسیمی، مقدار کوددهی، زمان مناسب کوددهی، روند جذب و انتقال پتاسیم در این درختان منجر شود که در بهینه‌سازی توصیه‌های کودی پتاسیم بسیار مؤثر است. به‌طور میانگین در درختان یک باغ بارده یک هکتاری مرکبات حدود ۳۰۰ تا ۷۵۰ کیلوگرم پتاسیم وجود دارد که حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد آن در برگ‌ها و ۴۵ تا ۶۰ درصد آن در میوه‌های این درختان است. بر اساس نتایج بلندمدت آزمایش‌های کوددهی مرکبات در ایران و برخی مناطق مختلف جهان برای پایداری تولید، بهبود عملکرد و کیفیت میوه، رشد مناسب و سلامت درختان مصرف حدود ۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم پتاسیم (K_2O) در هکتار در سال نیاز است که حدود ۵۰ تا ۷۰ درصد از این پتاسیم مصرفی در تولید میوه‌ها مشارکت دارد، حدود پنج درصد آن در ساختار درختان رسوب و ذخیره می‌شود و تعادل بین پتاسیم مصرفی و جذب شده توسط درختان با واکنش‌های جذبی و واجذبی با سطوح تبادلی خاک ایجاد می‌شود. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که بیشترین نیاز و راندمان جذب پتاسیم در درختان مرکبات در مرحله دوم رشد میوه رخ می‌دهد؛ اما در زمان حداقل فعالیت (زمستان)، شروع فصل رشد و پس از برداشت، راندمان جذب بسیار کم است؛ بنابراین در زمانی که جذب پتاسیم از خاک هنوز بسیار کم است ذخیره پتاسیمی در بافت‌های قدیمی‌تر بیشترین نقش در رشد و توسعه برگ‌ها، سرشاخه‌ها، گل‌ها و میوه‌چه‌ها در اوایل فصل رشد (شروع رشد سرشاخه‌ها، گلدهی و تشکیل میوه) دارند. بر این اساس محلول‌پاشی کودهای پتاسیمی هم نقش مهمی در تنظیم عرضه پتاسیم به اندام‌های جدید در حال رشد و توسعه، به‌ویژه در شروع فصل رشد دارد. بنابر آنچه گفته شد هدف از کوددهی پتاسیم تضمین پایداری تولید، افزایش عملکرد، افزایش کیفیت انبارمانی و کاهش ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی میوه‌ها است و کوددهی خاکی قبل از گلدهی و تشکیل میوه تأثیری در رشد سرشاخه‌های بهاره، گلدهی و تشکیل میوه در سال جاری ندارد. لذا توصیه می‌شود که باغ‌داران، کوددهی خاکی قبل از گلدهی و تشکیل میوه را متوقف نمایند و به‌تدریج، مقدار مصرف (درصدی از نیاز سالانه) را متناسب با فنولوژی رشد میوه از اواسط تا اواخر مرحله اول شروع نمایند و در مرحله دوم رشد میوه به حداکثر مقدار مصرف ارتقا داده شود.

واژه‌های کلیدی: تغذیه پتاسیم، فنولوژی رشد میوه، کودهای پتاسیم، نیاز پتاسیم

* – آدرس ایمیل نویسنده مسئول: **kangarshahi@gmail.com .**

نوع مقاله: مروری

مقدمه

به‌طورکلی مدیریت مصرف پتاسیم در درختان میوه از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است و مصرف بهینه آن برای افزایش عملکرد، بهبود اندازه و کیفیت میوه ضروری است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۲). پتاسیم به مقدار زیاد در برگ و بافت میوه مرکبات وجود دارد (اوبرضا و مورگان، ۲۰۱۱). پتاسیم در درختان مرکبات بسیار متحرک است و به‌آسانی از سلول به سلول دیگر یا از یک اندام به اندام دیگر حرکت می‌کند؛ اما پتاسیم از برگ های پیر به‌آسانی و با راندمان بالا به تنه و پوست درختان برگشت داده نمی‌شود. به‌طورکلی حدود ۳۰ درصد از پتاسیم برگ‌ها در هنگام پیری و ریزش، به تنه و پوست درختان برگشت داده می‌شود؛ بنابراین پتاسیم چندان در فصل زمستان در اندام‌های درختان ذخیره نمی‌شود. لذا درختان در اوایل فصل از ذخیره کافی پتاسیم برای تقسیم سلولی میوه‌چه‌های جوان و دیگر اندام‌های مریستمی برخوردار نیستند. از طرف دیگر، شدت جذب پتاسیم از ریشه و انتقال آن به اندام هوایی درختان مرکبات، متناسب با شدت رشد رویشی درختان است و معمولاً در اوایل فصل رشد، حداقل است و در اوایل فصل تابستان به حداکثر می رسد (اوبرضا و مورگان، ۲۰۱۱؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). به‌طورکلی غلظت پتاسیم برگ از ۱/۲ تا ۱/۷ درصد برای تولید مرکبات مناسب است و معمولاً عملکرد و اندازه میوه مرکبات در غلظت‌های پتاسیم حدود ۰/۵ تا ۰/۸ درصد کاهش می‌یابد کمبود پتاسیم در اواخر فصل رشد، موجب افزایش حساسیت درختان مرکبات به سرمای زمستان می‌شود. در مقابل، مصرف زیاد کود پتاسیم نیز مقاومت به سرمای درختان مرکبات را افزایش نمی‌دهد (تاکر و همکاران، ۱۹۹۵؛ مصطفی و صالح، ۲۰۰۶).

نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که عوامل متعددی در اندازه و کیفیت میوه مرکبات مؤثر هستند یکی از مهم‌ترین این عوامل، مدیریت کوددهی به‌ویژه کوددهی پتاسیم است. افزایش کوددهی پتاسیم موجب افزایش اندازه میوه، افزایش ضخامت پوست و اسیدیته عصاره می‌شود (بومن، ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹؛ بومن و همکاران، ۲۰۰۸؛ ارنر و همکاران، ۱۹۹۳). 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 چین خوردگی آلبدو و افزایش پارگی پوست میوه مرکبات می شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۸۲ و ۱۳۹۰). همچنین کمبود پتاسیم موجب کاهش عملکرد و کیفیت میوه مرکبات می‌شود. کاهش غلظت پتاسیم به کمتر از حد مطلوب در درختان مرکبات، ابتدا موجب کاهش رشد رویشی و زایشی (بدون بروز علائم کمبود ظاهری) می‌شود. عدم مصرف مناسب پتاسیم در درختان مرکبات با عملکرد زیاد می‌تواند موجب بروز علائم کمبود در اواخر تابستان و اوایل پاییز شود. با کمبود پتاسیم در برگ، ابتدا علائم برگی به شکل زرد شدن نوک و حاشیه برگ‌های مسن ظاهر می شود (شکل ۱) و سپس توسعه می‌یابد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)؛ بنابراین هدف این مقاله، درک بهتر اهمیت پتاسیم، ارزیابی پاسخ درختان مرکبات به کوددهی پتاسیم، شناخت جذب و انتقال پتاسیم و مقدار کوددهی، زمان مناسب کوددهی، روش کوددهی پتاسیم برای درختان مرکبات است که می‌تواند در مدیریت و بهینه-سازی توصیه‌های کودی پتاسیم بسیار مؤثر باشد.

شکل ۱- علائم کمبود پتاسیم در برگ درختان مرکبات (ارنر و همکاران، ۱۹۹۹)
Fig 1- Symptoms of potassium deficiency in the leaves of citrus trees (Erner et al., 1999)

پتاسیم در خاک

به‌طورکلی شعاع یون پتاسیم دهیدراته (آبگیری شده) حدود ۰/۱۳۳ نانومتر است و تعداد اکسیژن‌های اطراف یون پتاسیم هیدراته (دارای آب) از ۸ تا ۱۴ عدد تغییر می‌کند لذا پیوندهای پتاسیم- اکسیژن بسیار ضعیف بوده و انرژی هیدراته آن‌ها، کمتر از انرژی هیدراته منیزیم و کلسیم است بنابراین نسبت غلظت محلول به غلظت تبادلی آن در خاک، بیشتر از کاتیون‌های منیزیم و کلسیم است. پتاسیم به مقدار زیادی در خاک وجود دارد اما بیشتر از ۹۰ درصد آن به‌طور نسبی برای درختان میوه به‌صورت آنی غیرقابل استفاده است زیرا به‌طور عمده، توسط ذرات رس (میکا و دیگر کانی‌ها) تثبیت شده است. بیشتر پتاسیم قابل استفاده خاک در سطح ذرات رس یا هوموس جذب شده است و بخش کوچکی از پتاسیم به شکل محلول در خاک وجود دارد و به‌طورکلی، این شکل‌ها با هم در حال تعادل هستند. هم‌زمان که پتاسیم محلول خاک به‌وسیله درختان جذب می‌شود این پتاسیم می‌تواند توسط یون‌های جذب سطحی شده جبران شود و پتاسیم تبادلی نیز می‌تواند به‌تدریج به‌وسیله شکل‌های غیرقابل استفاده‌تر به‌آرامی جایگزین شود؛ بنابراین در برخی خاک‌ها، درختان میوه بدون مصرف پیوسته پتاسیم می‌توانند محصول خوبی تولید کنند (باشور و سایه، ۲۰۰۷؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

پتاسیم در خاک معمولاً به پنج شکل وجود دارد که شامل پتاسیم محلول، پتاسیم قابل تبادل، پتاسیم به‌سختی قابل تبادل، پتاسیم غیر قابل تبادل و کانی‌های پتاسیم است. پتاسیم محلول خاک، منبع قابل استفاده آنی پتاسیم برای درختان میوه است و مقدار آن به مدیریت کوددهی، مقدار خروج پتاسیم از خاک در سال قبل (با برداشت میوه)، سرعت هوادیدگی خاک و عوامل مؤثر بر ثابت تعادل بین پتاسیم محلول و جذب سطحی شده بستگی دارد. پتاسیم در محلول خاک، به‌طور عمده به شکل یونی (K^+) است و مقداری نیز به شکل کمپلکس‌های جفت یونی یا کمپلکس های آلی محلول وجود دارد که مقدار آن‌ها نسبت به شکل یونی بسیار کم است. دامنه غلظت پتاسیم قابل تبادل در خاک (استخراج شده با محلول استات آمونیوم نرمال)، از ۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است. به‌طورکلی دامنه غلظت ۲۰۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم پتاسیم قابل تبادل در کیلوگرم خاک برای رفع نیاز درختان بارده مرکبات در خاک‌های آهکی کفایت می‌کند، اما این دامنه کفایت در خاک‌های بدون آهک و اسیدی حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم است (جدول ۱). تعادل بین پتاسیم محلول و قابل تبادل سریع است و معمولاً در چند دقیقه، کامل می‌شود؛ اما تعادل بین پتاسیم به‌سختی قابل تبادل و پتاسیم قابل تبادل یا محلول، بسیار کندتر بوده و امکان دارد به روزها یا حتی ماه‌ها زمان نیاز داشته باشد. بیشتر پتاسیم غیرقابل تبادل، بین صفحات رس در موقعیت‌های قابل دسترس برای تبادل با کاتیون‌های محلول قرار دارد و با جذب پتاسیم محلول و قابل تبادل توسط درختان، پتاسیم غیر قابل تبادل به شکل های قابل تبادل و محلول تبدیل می‌شود. در مقابل، با

مصرف کودهای پتاسیمی در خاک، پتاسیم از شکل محلول و قابل تبادل به شکل‌های غیر قابل تبادل تبدیل خواهد شد. البته تبدیل از شکل غیر قابل تبادل به قابل تبادل، همیشگی نیست و در برخی خاک‌ها بسیار کند و ناچیز است. در مقابل، با کوددهی پتاسیم بخشی از پتاسیم به محل‌های قابل تبادل و بخشی دیگر به محل‌های غیر قابل تبادل می‌رود و ممکن است پتاسیم وارد شده به محل‌های غیرقابل تبادل، به آسانی نتواند با جذب پتاسیم توسط ریشه و کاهش پتاسیم محلول خاک به محلول خاک وارد شود (منگل و کربای، ۲۰۰۱؛ باشور و سایه، ۲۰۰۷؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

تحرک پتاسیم در خاک و انتقال آن به سطح ریشه

پتاسیم موجود در خاک و هر کود پتاسیمی (سولفات پتاسیم، کلرید پتاسیم، نیترات پتاسیم و ....) که به خاک منطقه ریشه درختان اضافه شود برای جذب، ابتدا باید حل شده و وارد محلول خاک شود و سپس همراه با جریان آب به سطح ریشه منتقل گردد. حرکت آب به سطح ریشه تحت تأثیر اختلاف پتانسیل آبی خاک اطراف ریشه و پتانسیل آبی سطح ریشه است. برای ایجاد و تشدید این اختلاف پتانسیل آبی، وجود ریشه‌ها و برگ‌های فعال و مؤثر ضروری است. تبخیر و تعرق از برگ‌ها موجب ایجاد کشش و حرکت جریان آب در آوندهای چوبی می‌شود که در نهایت به سلول‌های سطح ریشه می‌رسد و موجب کاهش پتانسیل آب در سطح ریشه شده و آب از خاک اطراف ریشه (با پتانسیل آبی بیشتر) به سطح ریشه (با پتانسیل آبی کمتر) منتقل می‌شود. همراه با حرکت و انتقال آب به سطح ریشه، عناصر غذایی محلول در آن (به‌ویژه پتاسیم) نیز به سطح ریشه منتقل می‌شوند. همچنین در خاک های با بافت سنگین و خاک‌های دارای رس‌های تثبیت کننده پتاسیم، انتقال پتاسیم همراه با جریان آب به سطح ریشه به تنهایی نمی‌تواند نیاز درختان را تأمین کند؛ بنابراین بخشی از نیاز پتاسیمی درختان از طریق انتشار به سطح ریشه منتقل می‌شود که تحت تأثیر اختلاف غلظت آن بین محلول خاک منطقه نزدیک ریشه و سطح ریشه است. برای ایجاد و تشدید این اختلاف غلظت و انتشار به سطح ریشه، وجود ریشه‌ها در حال رشد و فعال ضروری است. به‌طورکلی از علائم شروع فعالیت مجدد درختان مرکبات، رشد سرشاخه‌های سال جاری است که در منطقه شمال کشور رشد مجدد سرشاخه‌ها عمدتاً از اواسط فرودین ماه شروع شده و در اواسط تا اواخر اردیبهشت‌ماه کامل می شود؛ بنابراین در مرکبات شمال شروع جذب عناصر غذایی از اواسط فروردین‌ماه با حداقل راندمان شروع می‌شود و سپس افزایش می‌یابد و در اوایل تا اواسط تابستان (با توجه به نوع رقم) به حداکثر می‌رسد. در بیشتر مناطق جنوب کشور، رشد مجدد سرشاخه‌ها از اوایل تا اواخر اسفندماه شروع و در اواخر فروردین‌ماه کامل می‌شوند؛ بنابراین جذب و انتقال عناصر به سطح ریشه با راندمان حداقلی از اسفندماه شروع و در فروردین و اردیبهشت به حداکثر می-رسند (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

پتاسیم در درختان مرکبات

پتاسیم، به مقدار زیاد در برگ، بافت‌های رویشی و میوه درختان مرکبات وجود دارد (جدول‌های ۲، ۳ و ۴). اگرچه یکی از وظایف پتاسیم، فعال‌سازی آنزیم‌ها است اما مقدار کمی از پتاسیم، در مولکول‌های کمپلکس وجود دارد و بیشتر آن به شکل یونی، به‌عنوان یون محلول برای حفظ تورژسانس سلول عمل می‌کند که شامل سلول‌های جوان در حال رشد و همچنین سلول‌های نگهبان است که باز و بسته شدن روزنه‌ها را کنترل می‌کنند. پتاسیم در درختان مرکبات بسیار متحرک بوده و به‌آسانی به سلول وارد یا از آن خارج می‌شود یا از یک اندام به اندام دیگر حرکت می کند. شدت جذب پتاسیم در درختان مرکبات، متناسب با شدت رشد رویشی درختان است و در اوایل فصل تابستان به حداکثر می‌رسد. پتاسیم در بافت میوه درختان تجمع می یابد و نقش اساسی در رشد میوه دارد. کمبود پتاسیم، اندازه میوه را به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

مهم‌ترین علائم ظاهری کمبود پتا سیم در درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ سریواستاوا، ۲۰۱۳):

علائم ابتدا با زرد شدن نوک و حاشیه برگ‌ها شروع می شود سپس در نوک و حاشیه‌ها توسعه می‌یابد. بخش‌های مرده یا لکه‌ها ابتدا در برگ‌های مسن‌تر ظاهر می‌شود. به‌طورکلی جابجایی و انتقال پتاسیم از برگ‌های بالغ و ورود آن به برگ‌های جوان و دیگر اندام‌های مریستمی در حال رشد، موجب زرد شدن برگ‌ها می‌شود و در کمبود شدید، قهوه‌ای شدن (بافت مردگی) برگ‌ها رخ خواهد داد.

علائم اولیه اغلب با توقف رشد سرشاخه‌ها شروع می‌شود و سپس سرشاخه‌ها تنک و برگ‌ها تا اندازه ای برنزه شده و با توسعه کمبود برگ‌ها ظاهری مات (درخشش یا شفافیت طبیعی کم) خواهند داشت.

برگ‌ها اغلب چروکیده و پیچ می‌خورند، رشد شوت‌های انتهایی جدید ضعیف شده و به علت فقدان قدرت مکانیکی به حالت خمیده (S شکل) ظاهر می‌شوند. کمبود پتاسیم موجب کاهش فرآیند چوبی شدن دستگاه آوندی خواهد شد و در کمبود شدید، خم شدن سرشاخه ها و آسیب دستگاه آوندی افزایش می‌یابد.

کاهش رشد و اندازه برگ

زیادی ریزش برگ در بهار پس از گلدهی

پیچ‌خوردگی و تاب برداشتن برگ‌ها به طرف سطح پایین برگ (پیچ‌ها، کلمانتین‌ها و لیمو).

کاهش تشکیل میوه، تعداد میوه و عملکرد

کاهش اندازه میوه، نازک و صاف شدن پوست میوه.

کاهش مواد جامد محلول (TSS)، اسیدیته و ویتامین ث (C) در آب میوه

افزایش ترک خوردن یا شکاف خوردن میوه.

افزایش چین‌خوردگی پوست میوه‌ها (کریزینگ) به‌ویژه در نارنگی‌ها

افزایش ریزش میوه (به‌ویژه میوه‌های ریزتر) قبل از بلوغ و قبل از برداشت

افزایش درصد پوسیدگی میوه‌ها در انبار (کاهش زمان انبارمانی)

مهم‌ترین علائم ظاهری زیادی پتاسیم در درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ سریواستاوا، ۲۰۱۳):

افزایش اندازه میوه (شکل ۲)

ضخیم و خشن شدن پوست میوه

سنگ‌پایی شدن میوه به‌ویژه در نارنگی‌های انشو، کلمانتین-ها، پیچ‌ها و ... (شکل ۳)

کاهش عصاره میوه

کاهش کیفیت و رنگ عصاره میوه

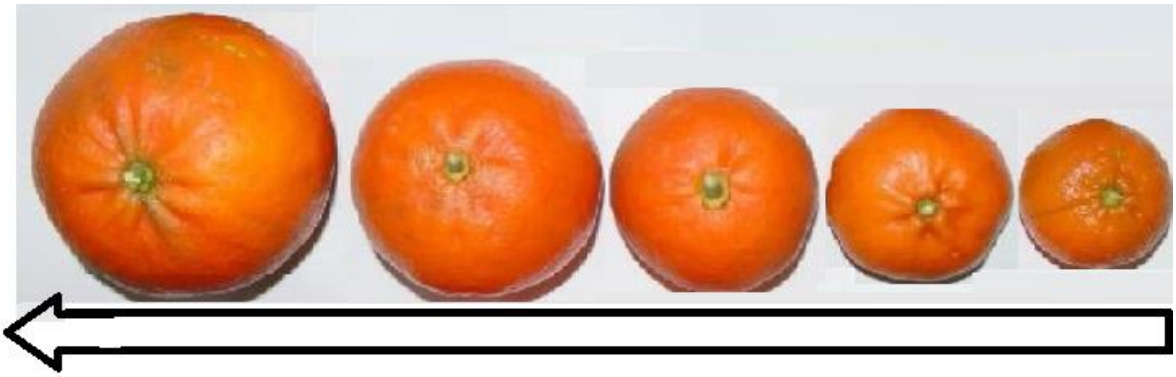
کاهش کیفیت رنگ پوست میوه به‌ویژه در پرتقال‌های ناول (لیمویی شده رنگ میوه).

تولید میوه‌های با پوست خشن و میزان عصاره کم

جدول ۱ - راهنمای تفسیر نتایج تجزیه پتاسیم خاک برای درختان مرکبات در خاک‌های آهکی (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸)

Table 1. Guidelines for interpretation of soil analysis data for citrus trees in calcareous soils trees (Asadi Kangarshahi, 2019)

عنصر element	کمبود Deficient	کم Low	مطلوب Optimum	زیاد High	خیلی زیاد Excess
		میلی‌گرم در کیلوگرم mg/kg			
پتاسیم potassium (استات آمونیم) (Ammonium acetate)	<100	100-200	200-300	300-500	>500



شکل ۲- تأثیر مصرف پتاسیم در اندازه میوه (ارنر و همکاران، ۱۹۹۳)
Fig 2- Effect of potassium applicahion on fruit size (Erner et al., 1993)

شکل ۳- تأثیر مصرف زیادی پتاسیم در سنگ‌پایی شدن میوه (اسدی کنکرشاهی، ۱۴۳۹۸)
Fig 3- The effect of high application of potassium on peel thickness of citrus fruit (Asadi Kangarshahi, 2019)

جدول ۲- دامنه مطلوب پتاسیم (درصد) در برگ برخی ارقام مختلف مرکبات (شاخه‌های انتهایی میوه‌دار)
Table 2- Optimum range of potassium (%) in the leaves of some different citrus cultivars (fruiting branches)

عنصر غذایی Nutrient	نارنگی‌های انشو Satsuma mandarins	پرتقال‌های ناول Navel oranges	پرتقال‌های خونی Blood oranges	نارنگی‌های کلمانتین Clementine tangerines	پرتقال‌های والنسیا Valencia oranges	گریپ‌فروت grapefruit	لیموها lemons
Potassium (%)	0.9-1.3	0.7-1.5	0.8-1.7	0.9-1.3	0.95-1.5	0.9-1.6	0.8-1.9

جدول ۳- غلظت پتاسیم (درصد بر اساس وزن خشک) در اندام‌های مختلف درختان مرکبات
Table 3- Potassium concentration in dry matter from various parts of citrus trees

اندام درخت Tree components	برگ‌های جوان Immature leaves	برگ‌های مسن Mature leaves	سرشاخه‌ها Twigs	بازوها Limbs	تنه اصلی Trunk	طوقه Taproot	ریشه‌های چوبی Woody roots	ریشه‌های فیبری Fibrous roots
غلظت (درصد) Concentration (%)	1.4	1.01	0.41	0.29	0.28	0.26	0.47	0.98

جدول ۴- مقدار پتاسیم در میوه برخی ارقام مرکبات
Table 4- Potassium content in the fruit of some citrus varieties

بخش خوراکی Pulp	پوست Peel	کل میوه Whole fruit	رقم Variety
درصد بر اساس وزن خشک (%) Dry weight			
1.40	0.48	1.21	پرتقال تامسون ناول Tamson navel orange
1.13	0.63	1.07	نارنگی انشو Satsuma mandarin
1.03	0.58	0.96	لیمو lemon
1.52	0.67	1.34	گریپ‌فروت grapefruit

پاسخ درختان مرکبات به کوددهی پتاسیم

گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۸) نشان داد که بین غلظت پتاسیم برگ و عملکرد درختان نارنگی انشوی میاگاوا، همبستگی مثبت معنی‌داری (R^2=۰/۹۲**) وجود دارد و بیشترین عملکرد، وزن متوسط و غلظت پتاسیم برگ از شروع مصرف خاکی پتاسیم (کودآبیاری) از اواسط مرحله اول تشکیل میوه به‌علاوه محلول‌پاشی پتاسیم یک هفته پس از تشکیل میوه و اواخر فاز دوم رشد میوه حاصل شد؛ اما در مقابل، مصرف خاکی پتاسیم قبل از شروع گلدهی، کمترین عملکرد، وزن متوسط میوه و غلظت پتاسیم برگ را داشت (شکل ۴). پاسخ ضعیف درختان به مصرف خاکی پتاسیم در اوایل فصل (قبل از شروع رشد) به فیزیولوژی درختان و احتمالاً شیمی خاک مربوط می‌شود، در مورد فیزیولوژی درختان، به علت فعالیت پایین ریشه در اوایل فصل و راندمان جذب بسیار پایین آن است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳). نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که زمان مصرف پتاسیم برای افزایش اندازه و کیفیت میوه بسیار مهم است. مصرف پتاسیم پس از تشکیل میوه در فاز اول رشد میوه، فرآیند تقسیم سلولی را تشدید می‌کند. حدود ۷۰ درصد از اندازه نهایی میوه، به تعداد سلول‌ها در میوه بستگی دارد بنابراین تعداد سلول‌های بیشتر در مرحله اول رشد میوه، پتانسیل بزرگ‌تر شدن میوه‌ها در پایان مرحله دوم رشد را امکان‌پذیر می سازد. به‌طور معمول، تقسیم سلولی در فاز دوم رشد میوه به شدت کاهش و یا متوقف می‌شود (مانسلیس، ۱۹۹۷؛ لوات، ۱۹۹۹؛ مورگان و همکاران، ۲۰۰۵)؛ بنابراین تغییر اندازه میوه در طول فاز دوم رشد میوه، ناشی از بزرگ شدن سلول‌ها است. به‌طورکلی برای تعیین حدود بحرانی عناصر غذایی در خاک، با توجه به این‌که جذب عناصر غذایی توسط ریشه درختان میوه از لایه‌های مختلف خاک انجام می‌شود و همچنین درصد جذب از این لایه‌ها نامشخص است بنابراین استفاده از حدود بحرانی عناصر غذایی در خاک، برای تخمین یا تعیین نیاز پتاسیمی درختان مرکبات از کارایی چندانی برخوردار نیست (اسدی کنگرشاهی و همکاران، ۱۳۸۰؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

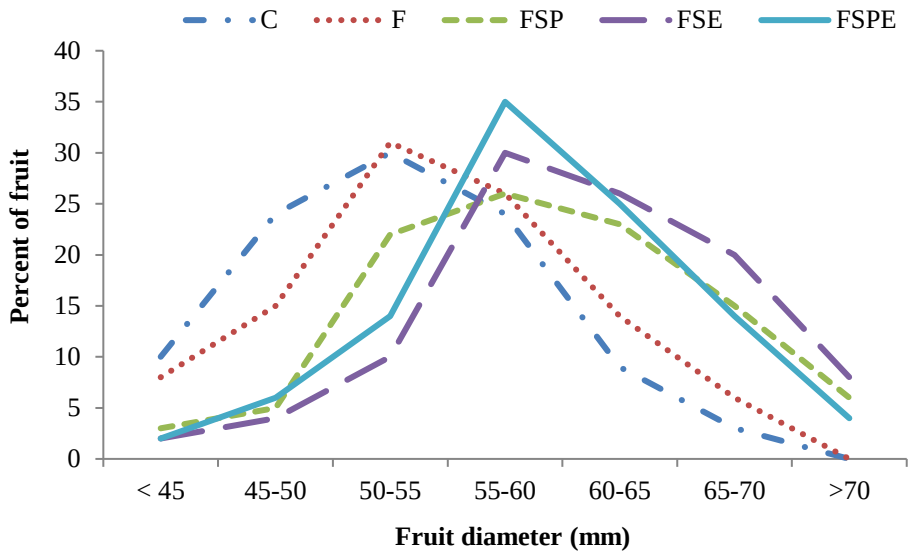
نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که نیاز پتاسیمی (K_2O) بیشتر ارقام در باغ‌های بارده مرکبات تقریباً معادل با نیاز نیتروژنی (N) آن‌ها به روش کوددهی خاکی است؛ اما اگر پتاسیم برگ این باغ‌ها در چند سال متوالی به‌ویژه در خاک‌های آهکی کمتر از حد مطلوب باشد این میزان می‌تواند تا حدود ۲۵ درصد نسبت به میزان مصرف نیتروژن افزایش یابد (اوبرضا، ۲۰۰۳؛ اوبرضا و مورگان، ۲۰۱۱). اگر کود پتاسیمی در یک سال مصرف شود برای تعیین این‌که در سال بعد چقدر پتاسیم مصرف شود نیاز است دوباره تجزیه خاک و برگ انجام شود. بر اساس تفسیر نتایج این تجزیه‌ها و متوسط عملکرد باغ، نسبت به مصرف کودهای پتاسیمی اقدام شود. اگر مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک بیش از حد کفایت و غلظت پتاسیم در برگ نیز در حد مطلوب و بیشتر باشد می‌توان مصرف خاکی کودهای پتاسیمی را متوقف کرد یا آن را به حداقل رساند؛ اما مصرف کودهای محلول پتاسیمی (مانند نیترات پتاسیم و.....) به شکل محلول‌پاشی برای افزایش اندازه و بهبود کیفیت میوه، در مراحل خاص فنولوژی (به‌ویژه پس از

تشکیل میوه و اواخر فاز دوم رشد میوه) به باغداران توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳؛ اسدی کنگرشاهی،۱۳۹۸).

به‌طورکلی پایه‌های مختلف مرکبات اختلاف کمی در جذب پتاسیم دارند؛ اما در بین ارقام (پیوندک‌ها)، اختلاف زیادی در جذب پتاسیم وجود دارد. به‌طوری‌که در پرتقال‌های تامسون‌ناول، واشنگتن‌ناول، ناولینا مصرف زیاد پتاسیم و نیتروژن موجب رشد بیش از اندازه میوه (به اصطلاح محلی کله‌ای شده) خواهد شد و به شدت بازاپسندی آن‌ها را کاهش می‌دهد. همچنین در پرتقال‌های تامسون‌ناول، واشنگتن‌ناول، ناولینا و گریپ‌فروت‌ها، مصرف زیاد پتاسیم اثرات نامطلوبی در پوست و عصاره میوه دارد؛ اما در پرتقال‌های خونی، سانگین‌ها و هاملین مصرف پتاسیم موجب افزایش اندازه میوه و بهبود کیفیت می‌شود لذا مصرف بیشتر پتاسیم برای این ارقام توصیه می‌شود. به‌طورکلی در بیشتر نارنگی‌ها و هیبریدهای آن‌ها، مصرف بیشتر پتاسیم موجب افزایش اندازه میوه خواهد شد بدون این‌که تأثیر نامطلوبی در اسیدیته عصاره، رنگ پوست یا کیفیت بافت پوست داشته باشد. در نارنگی‌های پیش‌رس میگاوا، مصرف زیاد پتاسیم می‌تواند درصد میوه‌های پاسنگی را به‌شدت افزایش دهد و موجب کاهش بازارپسندی آن‌ها شود (ارنر و همکاران، ۱۹۹۹؛ اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸).

کوددهی خاکی

نتایج گزارش‌های مختلف نشان داده است که پتاسیم در خاک‌هایی با بافت سنگین (رسی، رس سیلتی و رس شنی) و همچنین در خاک‌های با بافت نسبتاً سنگین (لوم رسی، لوم رسی سیلتی و لوم رسی شنی) به‌ویژه اگر دارای مقدار قابل‌توجهی ماده آلی نیز باشند تحرک بسیار محدودی دارد، لذا در این خاک‌ها، مصرف پتاسیم باید به روشی باشد که بتواند پتاسیم را در از نظر مکانی در مجاورت ریشه قرار دهد (چالکود یا نواری) و از نظر فنولوژی رشد، در زمان حداکثر نیاز درختان بارده به پتاسیم (از اواخر مرحله اول رشد میوه تا اواخر مرحله دوم رشد میوه) بتواند نیاز درختان را تأمین کند. در مقابل، در خاک‌های با بافت متوسط و سبک (لوم، لوم شنی، لوم سیلتی، شن لومی و شنی)، به‌ویژه اگر دارای مقدار ماده آلی آن‌ها نیز کم باشد توانایی نگهداری پتاسیم بسیار کمی دارند لذا در این خاک‌ها پتاسیم به‌آسانی به منطقه ریشه و لایه‌های پایینی پروفیل خاک و زیر منطقه ریشه منتقل می‌شود لذا در این خاک‌ها، مصرف بخش عمده پتاسیم به روش سرک یا پخش سطحی در زیر تاج درختان از اواخر از اواخر مرحله اول رشد میوه تا اواخر مرحله دوم رشد میوه توصیه می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۲۰۱۶ و ۲۰۲۳؛ اوبرضا، ۲۰۰۳). راندمان جذب پتاسیم در روش کوددهی خاکی می‌تواند تا حدود ۶۰ درصد افزایش یابد (پاپادوپولوس، ۲۰۰۱). به‌طورکلی منابع کودی پتاسیم برای مصرف خاکی (چالکود، نواری، سرک و پخش سطحی) در جدول‌های ۵ و ۶ آمده است.



شکل ۴- تأثیر مدیریت مصرف پتاسیم در اندازه و توزیع نسبی قطر میوه (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۵) (در محور افقی، C: شاهد،F : کودآبیاری، FSP: کودآبیاری به‌علاوه محلوپاشی پس از تشکیل میوه، FSE: کودآبیاری به‌علاوه محلوپاشی پس از ریزش فیزیولوژی میوه، FSPE: کودآبیاری به‌علاوه محلوپاشی پس از تشکیل و ریزش فیزیولوژی میوه)

Fig. 4- The effect of potassium application management on the size and relative distribution of the fruit diameter (Asadi Kangarshahi and Amakhali Amiri, 2015) (on the horizontal axis, C: Control, F: Fertigation (FSP), Fertigation and foliar spray after fruit set (FSE), Fertigation and foliar spray after June drop (FSPE), Fertigation and foliar spray after fruit set and June drop).

جدول ۵- منابع کودی پتاسیم برای مصرف خاکی (چالکود یا نواری) درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸)

Table 5- Sources of potassium fertilizers for soil application (cultan or strip) of citrus trees (asadi Kangarshahi, 2018)

کود Fertilizer	فرمول شیمیایی Chemical formula	درصد پتاسیم (K_2O) Potassium percent (K_2O)
سولفات پتاسیم (سنگی یا نامحلول) Potassium sulfate (insoluble)	K_2SO_4	50
سولفات پتاسیم منیزیم Potassium, magnesium sulfate	$K_2Mg(SO_4)_2,2H_2O$	22

جدول ۶- منابع کودی پتاسیم برای مصرف خاکی (سرک یا پخش سطحی) درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸)

Table 6- Sources of potassium fertilizers for soil application (vinegar or surface spreading) of citrus trees (asadi Kangarshahi, 2018)

کود Fertilizer	فرمول شیمیایی Chemical formula	درصد پتاسیم (K_2O) Potassium percent (K_2O)
سولفات پتاسیم (سولوپتاس) Potassium sulfate	K_2SO_4	50
کلرید پتاسیم Potassium chloride	KCl	60
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	KNO_3	44

کود آبیاری

کودآبیاری مناسب‌ترین روش برای مصرف پتاسیم در باغ‌های مرکبات است (بومن، ۱۹۹۸؛ اسدی کنگرشاهی،۱۳۹۸). با توجه به این‌که درختان مرکبات به مقادیر زیادی پتاسیم در مقایسه با سایر عناصر غذایی نیاز دارند و سرعت انتشار پتاسیم از سطوح تبادلی و تثبیت‌شده در سطوح تبادلی رس‌های خاک کمتر از میزان تقاضای پتاسیم این درختان به‌ویژه در مرحله دوم رشد میوه است،

لذا مصرف کودهای پتاسیمی از اواخر مرحله اول تا اواخر مرحله دوم رشد میوه برای افزایش عملکرد و کیفیت میوه ضروری است (به‌ویژه در ارقام با عملکرد بالا و ارقام دارای تناوب باردهی در سال آور). این کوددهی به‌ویژه در باغ‌های که از آبیاری قطره‌ای استفاده می‌شود اهمیت بسیار بیشتری دارد، زیرا در این باغ‌ها حجم خاک اشغال شده توسط ریشه فعال کم است و تمام حجم خاک منطقه ریشه، به درختان برای تأمین پتاسیم کمک نمی‌کند (کافکافی و تارشیتزکی، ۲۰۱۱). در خاک‌هایی که دارای مقدار قابل‌توجهی ماده آلی یا رس هستند، تحرک پتاسیم در خاک محدود است، زیرا بار مثبت یون پتاسیم موجب می‌شود که این یون توسط کمپلکس تبادل کاتیونی ذرات بار منفی خاک نگهداری و تحرک آن کم شود. در مقابل در خاک‌های شنی، با مقادیر بسیار کم رس یا مواد آلی، توانایی نگهداری پتاسیم بسیار کم است لذا شستشوی آن به لایه‌های پایینی پروفیل خاک و زیر منطقه ریشه انجام می‌شود (اوبرضا، ۲۰۰۳). با توجه به این وضعیت و با توجه به اینکه درختان مرکبات به مقدار زیادی پتاسیم نیاز دارند، یک برنامه کوددهی مناسب با نرخ نسبتاً بالایی از پتاسیم برای درختان بارده مرکبات نیاز است. به‌طورکلی راندمان جذب پتاسیم در روش کودآبیاری در مرحله دوم رشد میوه می‌تواند تا حدود ۹۰ درصد افزایش یابد (پاپادوپولوس، ۲۰۰۱). به‌طورکلی منابع کودی پتاسیم برای کودآبیاری در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷- منابع کودی پتاسیم برای کودآبیاری درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸)

Table 7- Sources of potassium fertilizers for fertigation of citrus trees (asadi Kangarshahi, 2018)

کود Fertilizer	فرمول شیمیایی Chemical formula	درصد پتاسیم (K_2O) Potassium percent (K_2O)
سولفات پتاسیم (سولوپتاس) Potassium sulfate	K_2SO_4	50
کلرید پتاسیم Potassium chloride	KCl	60
منوپتاسیم فسفات Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	34
دی پتاسیم فسفات Dipotassium phosphate	K_2HPO_4	53
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	KNO_3	44
فسفیت پتاسیم Potassium phosphite	KH_2PO_3	26

محلول‌پاشی

محلول‌پاشی پتاسیم نمی‌تواند جایگزین مصرف خاکی آن شود بلکه بیشتر به‌عنوان یک روش تکمیلی استفاده می‌شود و محلول‌پاشی پتاسیم در خاک‌های آهکی در رفع کمبود و تأمین پتاسیم درختان مرکبات بسیار مؤثر است (بومن، ۱۹۹۸؛ ساروی؛ ۲۰۱۲). پرتقال‌های والنسیا با پایه نارنج نسبت به دیگر پایه‌ها تمایل بسیار کمتری برای جذب پتاسیم دارد و از راندمان جذب کمتری نیز برخوردار هستند لذا برای این درختان به‌ویژه در سال آور، علاوه بر مصرف خاکی یا کودآبیاری، محلول‌پاشی کودهای پتاسیمی مناسب به‌ویژه پس از مرحله ریزش فیزیولوژی میوه‌چه‌ها و قبل از بلوغ میوه‌ها توصیه می‌شود. از این‌رو، محلول‌پاشی پتاسیم در طول دوره گل‌دهی و پس از گل‌دهی تأثیر زیادی در اندازه میوه دارد زمانی که پتاسیم برای تقسیم سلولی و بزرگ شدن سریع سلول‌ها استفاده می‌شود (باری و باور، ۱۹۹۷؛ بومن، ۱۹۹۸؛ لوات، ۱۹۹۹). محلول‌پاشی پتاسیم در اواخر تابستان و پاییز نیز در برخی سال‌ها برای ارقام پرتقال، گریپ‌فروت و نارنگی‌های میان‌رس و دیررس می‌تواند مفید باشد. در برخی موارد، مصرف پاییزی آن مؤثرتر است (به‌ویژه، در سال‌های با تابستان و پاییز مرطوب) زیرا طول روز کوتاه‌تر و آب‌وهوای سردتر می‌تواند میزان توسعه میوه ها (انبساط سلولی) را بعد از مهرماه در بیشتر سال‌ها به‌طور چشم‌گیری کاهش دهد؛ بنابراین، محلول‌پاشی پتاسیم برای بزرگ شدن میوه‌ها در این ارقام در اواخر تابستان یا اوایل پاییز توصیه می‌شود و این محلول‌پاشی پتاسیم، اگر در شهریورماه یا مهرماه انجام شود در افزایش اندازه میوه (با توجه به رقم) بسیار مؤثر خواهد بود (بومن، ۱۹۹۷ و ۲۰۰۱؛ برگر و همکاران، ۱۹۹۶).

نتایج پژوهشی مختلف نشان داده است که استفاده از نیترات پتاسیم برای محلول‌پاشی، می‌تواند

موجب افزایش سریع پتاسیم برگ شود زیرا جذب پتاسیم از این کود، نسبتاً سریع است. البته اثر مثبت آن نیز کوتاه مدت‌تر است. همچنین اثر محلول‌پاشی نیترات پتاسیم در افزایش پتاسیم برگ در مقایسه با مصرف خاکی نیترات پتاسیم و دیگر کودهای پتاسیمی، بسیار سریع‌تر است (پیج و همکاران، ۱۹۶۳؛ کالورت و اسمیت، ۱۹۷۲؛ روبرتس، ۲۰۰۸). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که محلول پاشی پتاسیم می‌تواند اندازه میوه‌های مرکبات را حدود ۲۵ تا ۳۵ در صد نسبت به شاهد افزایش دهد. محلول‌پاشی پتاسیم قبل از گل‌دهی، پس از گل‌دهی و محلول‌پاشی تابستانه، متوسط قطر میوه پرتقال والنسیا را ۰/۴۰ تا ۰/۶۰ سانتی‌متر افزایش داد که می‌تواند معادل افزایش یک کلاس یا بیشتر در اندازه میوه باشد. هنگامی‌که محلول‌پاشی پاییزه برای گریپ‌فروت انجام شد قطر میوه‌های گریپ‌فروت حدود ۰/۲۰ تا ۰/۴۰ سانتی‌متر افزایش یافت که معادل افزایش نیم تا یک کلاس در اندازه میوه است. محلول‌پاشی پتاسیم معمولاً موجب افزایش نسبی تعداد میوه‌های درشت نسبت به میوه‌های کوچک نمی شود بلکه موجب می‌شود که تعداد قابل ملاحظه‌ای از میوه‌ها، از نظر اندازه به کلاس بالاتر بروند (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۵؛ بومن، ۱۹۹۸؛ توکر و همکاران، ۱۹۹۵؛ ساروی و همکاران، ۲۰۱۲).

با توجه به این‌که حداکثر سود اقتصادی مرکبات به‌ویژه در نارنگی‌های انشو، کلمانتین، پیج‌ها، پرتقال‌های خونی، پرتقال‌های والنسیا و ... از میوه‌های با اندازه متوسط و درشت حاصل می‌شود بنابراین روش محلول‌پاشی و زمان مصرف پتاسیم تأثیر زیادی در افزایش اندازه میوه دارد و محلول‌پاشی پتاسیم پس از تشکیل میوه و ریزش فیزیولوژی میوه‌چه‌ها، مهم‌ترین مراحل زمانی محلول‌پاشی پتاسیم برای افزایش اندازه میوه این ارقام است (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ ساروی و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس نتایج پژوهش‌های اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۸) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۵) برای افزایش اندازه میوه‌ها و رسیدن به حداکثر سود اقتصادی، محلول‌پاشی پتاسیم پس از تشکیل میوه از حداکثر کارایی برخوردار است، همچنین محلول‌پاشی پس از ریزش فیزیولوژی میوه‌چه‌ها و در اواسط و اواخر مرحله دوم رشد میوه توصیه می‌شود که از راندمان بالایی برخوردار است و تأثیر زیادی در افزایش اندازه میوه دارد. نتایج پژوهش‌های مختلف نشان داده است که محلول‌پاشی پتاسیم درصد میوه‌های ریز را کاهش و در مقابل درصد میوه‌های متوسط و درشت را افزایش می‌دهد؛ بنابراین محلول‌پاشی پس از تشکیل میوه، پس از ریزش فیزیولوژی میوه‌چه‌ها و در زمان توسعه میوه، تأثیر زیادی در افزایش اندازه میوه دارد لذا به باغداران توصیه می‌شود از مصرف پتاسیم قبل از شروع رشد پرهیز کنند و در مقابل مصرف پتاسیم را متناسب با فنولوژی رشد میوه، پس از تشکیل میوه شروع کنند. نتایج تأثیر مدیریت مصرف پتاسیم بر توزیع نسبی اندازه میوه نارنگی انشو در شکل ۱ آورده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که محلول پاشی پتاسیم پس از تشکیل میوه و محلول‌پاشی در طول مرحله دوم توسعه میوه، موجب افزایش نسبی تعداد میوه های با اندازه بزرگ‌تر شد و در مقابل تعداد میوه‌های ریز کاهش یافت (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۵). بر اساس نتایج این پژوهش، مهم‌ترین مرحله کلیدی فنولوژی درختان مرکبات برای افزایش اندازه میوه مرکبات، محلول‌پاشی پس از تشکیل میوه و ریزش فیزیولوژی میوه چه‌ها است. محلول‌پاشی پتاسیم در فراهمی پتاسیم مورد نیاز برای میوه‌چه‌ها در طول مرحله تقسیم سلولی پس از تشکیل میوه بسیار مؤثر است. همچنین پتاسیم کافی در طول مرحله بزرگ شدن سریع سلول‌ها برای ادامه رشد سلول‌ها نیاز است (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ بومن و همکاران، ۲۰۰۸؛ اوبرضا و مورگان، ۲۰۱۱؛ ارنر و همکاران، ۱۹۹۹). به‌طورکلی منابع کودی پتاسیم برای محلول‌پاشی در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸- منابع کودی پتاسیم برای محلول‌پاشی درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸)

Table 8- Sources of potassium fertilizers for foliar spray of citrus trees (asadi Kangarshahi, 2018)

کود Fertilizer	فرمول شیمیایی Chemical formula	درصد پتاسیم (K_2O) Potassium percent (K_2O)
منوپتاسیم فسفات Monopotassium phosphate	KH_2PO_4	34
دی پتاسیم فسفات Dipotassium phosphate	K_2HPO_4	53
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	KNO_3	44
فسفیت پتاسیم Potassium phosphite	KH_2PO_3	26

منابع کودی پتاسیم و امکان اختلاط آن‌ها

نتایج مقایسه تأثیر کودهای منوپتاسیم فسفات، نیترات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر عملکرد مرکبات نشان داد که بیشترین عملکرد از کود منوپتاسیم فسفات حاصل شد و کودهای نیترات پتاسیم و سولفات پتاسیم به ترتیب پس از آن قرار داشتند. بیشترین درصد قند میوه نیز از کود منوپتاسیم فسفات بود و پس از آن سولفات پتاسیم و نیترات پتاسیم قرار گرفتند. بیشترین درصد عصاره و کمترین اسیدیته عصاره نیز از منوپتاسیم فسفات بود بیشترین شاخص برداشت میوه نیز به ترتیب از منوپتاسیم فسفات، سولفات پتاسیم، نیترات پتاسیم حاصل شد (شیگور و سریواستاوا، ۲۰۱۳). نتایج گزارش‌های اسدی کنگرشاهی (۱۳۹۸) و اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۴۰۲) نیز نشان داد که بیشترین عملکرد، شاخص برداشت و قند میوه و همچنین کمترین اسیدیته عصاره از مصرف منوپتاسیم فسفات حاصل شد. به‌طورکلی باید توجه داشته داشت که در هنگام مصرف کودهای محلول پتاسیمی توسط سامانه‌های آبیاری تحت فشار (آبیاری قطره‌ای) یا در تانک کود برای محلول‌پاشی از اختلاط این کودها با کودهایی که ناسازگار یا موجب کاهش حلالیت می‌شوند اجتناب کنند زیرا که امکان رسوب و گرفته شدن قطره‌چکان‌ها را افزایش می‌دهد و همچنین در محلول‌پاشی موجب کاهش راندمان جذب و در مواردی امکان خسارت به میوه را تشدید می‌کنند؛ بنابراین توصیه می‌شود در هنگام اختلاط کودهای پتاسیمی با سایر کودها در تانک کود برای کودآبیاری یا در تانک محلول‌پاشی دقت شود که از کودهایی استفاده شود که امکان اختلاط داشته باشند و به‌اصطلاح، با هم سازگاری داشته باشند. در جدول ۹، منابع کودیی که امکان اختلاط دارند و همچنین اختلاط‌هایی که موجب کاهش حلالیت و یا رسوب می‌شوند نشان داده شده است. این جدول‌ها، به‌عنوان جدول راهنما برای اختلاط کودهای پتاسیمی با سایر کودهای شیمیایی برای کودآبیاری یا محلول‌پاشی است (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸).

جدول ۹- سازگاری و امکان اختلاط کودهای پتاسیمی با برخی کودها و ترکیبات شیمیایی معمول برای کود آبیاری و محلول‌پاشی (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)

Table 9- Compatibility and the possibility of mixing potassium fertilizers with some fertilizers and common chemical compounds for fertigation and foliar spraying (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014)

کود Fertilizer	اوره Urea	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات کلسیم Calcium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	نیترات منیزیم magnesium nitrate	سولفات آهن Iron sulfate	سولفات منگنز Manganese sufhate
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	√	R	√	R	√	R	R	√	√

کود Fertilizer	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات مس Copper sulfhate	کلات‌های آهن Iron chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های مس Copper chelates	سولفات منیزیم magnesium sulfate	اسید فسفریک Phosphoric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid
نیترات پتاسیم Potassium nitrate	√	√	√	√	√	√	√	√	√

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)

√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

کود Fertilizer	اوره Urea	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات کلسیم Calcium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات منیزیم magnesium nitrate	فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	سولفات آهن Iron sulfate	سولفات منگنز Manganese sufhate	سولفات پتاسیم Potassium sulfate
کلرید پتاسیم Potassium chloride	√	√	√	√	R	√	√	√	√	R

کود Fertilizer	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات مس Copper sulfhate	کلات‌های آهن Iron chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های مس Copper chelates	سولفات منیزیم magnesium sulfate	اسید فسفریک Phosphoric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید نیتریک Nitric acid
کلرید پتاسیم Potassium chloride	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیرقابل اختلاط)

√ -compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

کود Fertilizer	اوره Urea	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات کلسیم Calcium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات منیزیم magnesium nitrate	فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	سولفات آهن Iron sulfate	سولفات منگنز Manganese sufhate	فسفات پتاسیم Potassium phosphate
سولفات پتاسیم Potassium sulfate	√	√	R	X	X	X	√	R	R	R

کود Fertilizer	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات مس Copper sulfhate	کلات‌های آهن Iron chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های مس Copper chelates	سولفات منیزیم magnesium sulfate	اسید فسفریک Phosphoric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید نیتریک Nitric acid
سولفات پتاسیم Potassium sulfate	R	R	√	√	√	√	R	√	R	√

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)

√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

کود Fertilizer	اوره Urea	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات کلسیم Calcium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات منیزیم magnesium nitrate	فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	سولفات آهن Iron sulfate	سولفات منگنز Manganese sufhate	فسفات پتاسیم Potassium phosphate
منو یا دی پتاسیم فسفات Meno or Dipotassium phosphate	√	√	√	X	X	X	R	X	X	R

کود	سولفات روی Zinc sulfate	سولفات مس Copper sulfhate	کلات‌های آهن Iron chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های مس Copper chelates	سولفات منیزیم magnesium sulfate	اسید فسفریک Phosphoric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید نیتریک Nitric acid
منو یا دی پتاسیم فسفات Meno or Dipotassium phosphate	X	X	R	R	R	R	X	R	√	√

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)

√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

پتاسیم و اندازه میوه

به‌طورکلی رشد رویشی درختان مرکبات، معمولاً پاسخ چندانی به مصرف کودهای پتاسیمی ندارند اما برخلاف رشد رویشی، رشد میوه‌چه‌ها و اندازه میوه‌ها به‌شدت تحت تأثیر غلظت پتاسیم (از کمبود شدید تا زیادی پتاسیم) است. حفظ غلظت پتاسیم در دامنه مطلوب در کیفیت خارجی میوه‌ها اهمیت زیادی دارد. پتاسیم خیلی زیاد موجب ایجاد میوه‌های بزرگ با پوست ضخیم، خشن و با رنگ ضعیف می‌شود. در مقابل، پتاسیم کم و خیلی کم موجب تولید میوه‌های کوچک می‌شود که معمولاً مناسب تازه‌خوری یا صادرات نیستند. مصرف پتاسیم به‌ویژه موقعی که غلظت پتاسیم برگ پایین است تأثیر زیادی در افزایش اندازه میوه دارد. تأثیر مثبت کوددهی پتاسیم در اندازه میوه مرکبات به‌خوبی اثبات شده است و افزایش تولید با کوددهی پتاسیم و با پتاسیم برگ در دامنه کفایت بین ۱/۵ تا ۱/۷ انتظار می‌رود. در مقابل مصرف زیادی پتاسیم نیز ممکن است منجر به افزایش ضخامت و زبری پوست شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۵؛ مورگان و همکاران، ۲۰۰۵). نتایج مقدار پتاسیم و نیتروژن در درختان مرکبات و توزیع آن‌ها نشان داده است که مقدار پتاسیم در اندام‌های رویشی کمتر از نیتروژن است اما در میوه‌ها، مقدار پتاسیم بیشتر از نیتروژن است. به‌طورکلی بیشترین عملکرد درختان مرکبات از نسبت نیتروژن به پتاسیم در برگ، بین ۲/۴ تا ۳ حاصل می‌شود (با نیتروژن بیشتر از ۲/۱ درصد و پتاسیم بیشتر از ۰/۸ درصد) اما برای حداکثر اندازه میوه، نسبت نیتروژن به پتاسیم در برگ حدود ۱/۶ تا ۲/۲ درصد (با مقدار پتاسیم بیشتر از ۰/۹ درصد و نیتروژن بیشتر از ۱/۸ درصد) توصیه می‌شود (لوات، ۲۰۰۲). هر دوی این عناصر سرعت جذب سریع و تحرک بالایی در سیستم آوندی دارند بنابراین محلول‌پاشی و همچنین مصرف خاکی این عناصر تأثیر مثبتی در اندازه میوه دارند (لوات، ۲۰۰۲).

پتاسیم و شکاف خوردن میوه

شکاف خوردن میوه مرکبات با دیگر میوه‌ها متفاوت است. این تفاوت به علت مرفولوژی خاص میوه مرکبات است که شامل گوشت و پوست است به‌علاوه پوست از یک لایه اسفنجی سفید داخلی به نام پوست داخلی[1] یا آلبیدو[2] و یک لایه خارجی پوست خارجی[3] یا فلایودو[4] تشکیل شده است. در طول مرحله اول توسعه میوه (مرحله تقسیم سلولی)، عمده سلول‌های فلایودو تشکیل می‌شوند و پس‌ازآن تقسیم سلولی فلایودو کاهش می‌یابد و در مقابل سلول‌های گوشت در مرحله دوم رشد میوه، شروع به توسعه می‌کنند. فشار ایجاد شده ناشی از توسعه سریع گوشت میوه موجب ایجاد ترک‌های ریز و شروع شکاف خوردن در خامه یا ناف انتهای میوه می‌شود؛ محلی که پوست در آن نازک‌تر و استحکام ساختمانی آن نیز نسبت به بخش‌های دیگر پوست کمتر است (شکل ۵). برخی عوامل محیطی می‌توانند موجب توسعه ضعیف‌تر پوست شوند و پوست را به شکاف خوردن مستعدتر نمایند. این عوامل شامل عدم تعادل عناصر غذایی به‌ویژه پتاسیم و فسفر، شرایط اقلیمی گرم و مرطوب، آبیاری نامنظم و محصول زیاد هستند. به‌هرحال به نظر می‌رسد تنش در طول مرحله اول توسعه میوه (II) که عمده یا بخش اعظم سلول‌های فلایودو تشکیل می‌شوند و پیوستگی ساختمانی آن‌ها تعیین می‌گردد، مهم‌ترین عامل تعیین‌کننده حساسیت میوه‌ها به شکاف خوردن میوه است. محصول زیاد (تعداد زیاد میوه)، آبیاری نامناسب و همچنین کوددهی نامناسب و ناکافی در طول این دوره بحرانی، پتانسیل شکاف خوردن میوه را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۰؛ برگمن، ۱۹۹۲).

[1]- mesocarp
[2]- albedo
[3]- exocarp
[4] - flavedo

شکل ۵- شکاف خوردن میوه پرتقال‌های ناول (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۰)
Fig. 5- Splitting in Navel oranges fruit (asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2011)

پتاسیم و تنش سرما و یخبندان

به‌طورکلی مصرف پتاسیم موجب افزایش تحمل درختان به تنش‌های محیطی مانند افزایش تحمل به تنش سرما می‌شود که عمدتاً ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی شیره سلولی به علت افزایش نسبت اسیدهای چرب اشباع‌نشده به اشباع‌شده در حضور پتاسیم در شیره سلولی می‌شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). در مقابل کمبود پتاسیم، حساسیت درختان را به تنش سرما افزایش می‌دهد که به علت نقش آن در افزایش تولید رادیکال‌های آزاد اکسیژن است (شکل ۶). به‌طورکلی، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن توسط آنزیم‌های اکسید کننده NADPH و ضعیف شدن سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدان در میزان خسارت سلول‌ها ناشی از تنش سرمایی، اهمیت بسیار زیادی دارند. با توجه به این‌که کمبود پتاسیم، موجب افزایش فعالیت آنزیم NADPH اکسیداز می‌شود، بنابراین کمبود آن در درختان مرکبات در معرض تنش سرما، تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن را در این درختان به‌طور فزاینده‌ای افزایش می‌دهد همچنین تولید گونه‌های فعال اکسیژن می‌تواند به علت اختلال در انتقال الکترون فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسیدکربن باشد. بررسی‌های میدانی متعدد نگارندگان نشان داده است که پتاسیم در تحمل درختان به تنش‌های سرما و یخبندان بسیار مؤثر است و در طول فصل زمستان، درختان مرکبات با کمبود پتاسیم، حساس‌تر به تنش سرما و یخبندان هستند (شکل ۳). پتاسیم تأثیر مطلوبی در تنظیم آب و فتوسنتز گیاهان دارد. ازآن‌جایی‌که خسارت سرما اغلب موجب دهیدراسیون پروتوپلاسم می‌شود لذا مصرف پتاسیم می تواند منجر به بهبود فتوسنتز و سازگاری اقلیمی بهتر شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

پژوهش‌های یاسینی و همکاران (۱۴۰۰) در دو سال بر روی ارقام تامسون ناول و پرتقال خونی (مورو) در استان مازندران نشان داد که در سال اول آزمایش میانگین عملکرد در تیمار شاهد برای پرتقال رقم مورو و تامسون ناول به ترتیب، ۴۰ و ۷۵ کیلوگرم به ازای هر درخت بود، اما در تیمار کودی (مصرف پتاسیم و منیزیم بر اساس نتایج تجزیه خاک، برگ، عملکرد و فنولوژی رشد میوه)، عملکرد پرتقال مورو و تامسون ناول به ترتیب به ۷۲ و ۱۷۵ کیلوگرم به ازای هر درخت افزایش یافت. در سال دوم آزمایش عملکرد پرتقال مورو و تامسون ناول در شاهد و تیمار کودی به ترتیب از ۸۰ و ۱۴۰ کیلوگرم به ۱۵۵ و ۳۰۵ کیلوگرم به ازای هر درخت افزایش یافت. همچنین در سال اول میانگین درصد ماده خشک پرتقال مورو و تامسون ناول به ترتیب از ۱۵/۶ و ۲۲ درصد در شاهد، به ۱۷/۱ و ۲۴/۴ درصد در تیمار مصرف پتاسیم و منیزیم رسید و در سال دوم، از ۱۸/۱ و ۲۲/۳ درصد در شاهد به ۲۰ و ۲۵/۲ درصد در تیمار مصرف پتاسیم و منیزیم افزایش یافت. تحمل به تنش سرما میوه پرتقال مورو و تامسون ناول در سال اول، در شاهد به ترتیب صفر و ۱- و در تیمار مصرف پتاسیم و منیزیم حدود ۲- و ۵- درجه سانتی‌گراد بود اما در سال

دوم از ۱- و ۳- درجه سانتی‌گراد در شاهد به ۴- و ۹- درجه سانتی‌گراد در تیمار مصرف پتاسیم و منیزیم رسید. با توجه به نتایج این پژوهش رعایت اصول مصرف بهینه کودی برای کلیه باغ‌های مرکبات کشور توصیه می‌شود. مصرف پتاسیم پس از ریزش فیزیولوژی میوه‌چه‌ها در طول مرحله توسعه سلول‌ها (فاز دوم رشد میوه)، برای تأمین پتاسیم لازم برای رشد و توسعه سلول‌های میوه حیاتی است و از مهم‌ترین مراحل زمانی مصرف پتاسیم برای افزایش اندازه میوه، بهبود کیفیت میوه، افزایش ماده خشک، افزایش زمان انبارمانی، افزایش تحمل به تنش سرما و یخبندان و پایداری تولید است.

شکل ۶- خسارت شدید ناشی از تنش سرما در درختان مرکبات دارای کمبود شدید پتاسیم در شرق مازندران (۱۳۹۷)
Fig 6- Severe damage caused by cold stress in citrus trees with severe potassium deficiency in the east of Mazandaran (2017)

پتاسیم و تنش شوری

به‌طورکلی مصرف پتاسیم موجب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی مانند افزایش تحمل به تنش شوری، تنظیم بالانس آب داخلی و تورژساس سلول، تنظیم ورود یا خروج سدیم در پلاسمالمای سلول‌های ریشه می‌شود (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). پتاسیم، خسارت سلول‌های گیاهی را نسبت به تنش شوری کاهش می‌دهد. نسبت پتاسیم به سدیم (K/Na) در درختان مرکبات، شاخص مناسبی برای ارزیابی تحمل تنش شوری است و می‌تواند شاخص مناسبی برای غربال کردن تحمل ژنوتیپ‌ها به سدیم باشد. گیاهانی که دارای حساسیت خیلی زیاد به تنش شوری هستند، معمولاً حساسیت زیادی نیز به کمبود پتاسیم دارند و ظرفیت پایینی برای جذب پتاسیم از محیط دارند. تنش شوری بیانگر یک تنش اکسیداتیو است و موجب فعال سازی آنزیم‌های اکسید کننده NADPH و گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود و کمبود پتاسیم منجر به افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های اکسیده کننده NADPH با تولید هم زمان گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. همچنین برخی گزارش‌ها نشان می‌دهند که تولید گونه‌های فعال اکسیژن، پاسخ اولیه به کمبود پتاسیم توسط آنزیم‌های اکسید کننده NADPH و تولید گونه‌های فعال اکسیژن است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۵، مارشنر، ۱۹۹۵)؛ بنابراین، تولید گونه های فعال اکسیژن ناشی از تنش شوری در شرایط کمبود پتاسیم می‌تواند تشدید شود. همچنان‌که سمیت سدیم موجب کمبود پتاسیم در سلول‌ها می‌شود، افزایش در تولید گونه‌های فعال اکسیژن توسط آنزیم‌های اکسید کننده NADPH در شرایط تنش شوری، ممکن است نتیجه اختلال در وضعیت تغذیه‌ای پتاسیم در برگ باشد؛ بنابراین،

به‌علت تأثیر مشخص پتاسیم، در متابولیسم کربن فتوسنتزی و تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) در سلول‌های کلروپلاست، اگر قابلیت استفاده این عناصر در خاک و فراهمی آن‌ها برای درختان پایین باشد صدمه اکسیداسیون نوری در درختانی که در شرایط محیطی با امکان وقوع تنش های غیرزنده مانند خشکی، سرما و شوری رشد می‌کنند، تشدید می‌شود. مدیریت مصرف و فراهمی کافی عناصر غذایی معدنی مانند نیتروژن، پتاسیم، منیزیم، کلسیم و روی، برای پایداری و ثبات فعالیت‌های فتوسنتزی، مصرف انرژی نورانی و تثبیت دی‌اکسیدکربن ضروری است (سریواستاوا و سینگ، ۲۰۰۳؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری،۱۳۹۵)؛ بنابراین، مدیریت کوددهی درختان میوه (به‌ویژه پتاسیم) یک عامل بسیار مهم برای محافظت درختان مرکبات در مقابل خسارت ناشی از تنش‌های محیطی بحرانی مانند تنش شوری و ... است.

پتاسیم و آفتاب سوختگی میوه‌ها

نتایج پژوهش‌های اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری (۱۳۹۵) در مورد تأثیر مدیریت مصرف پتاسیم بر درصد میوه‌های دارای لکه‌های آفتاب سوختگی نشان داد مصرف پتاسیم به روش کود آبیاری در فصل رشد متناسب با فنولوژی رشد میوه و محلول‌پاشی پتاسیم پس از تشکیل میوه، تقسیم سلولی، ریزش فیزیولوژی و انبساط سلولی موجب کاهش معنی‌داری در درصد میوه‌های دارای لکه آفتاب سوختگی در درختان مرکبات می‌شود به‌طوری‌که کودآبیاری پتاسیم به‌علاوه محلول‌پاشی پس از ریزش فیزیولوژی میوه (FSE) و کودآبیاری به‌علاوه محلول‌پاشی پس از تشکیل و ریزش فیزیولوژی میوه (FSPE) دارای کمترین درصد میوه‌های دارای لکه‌های آفتاب سوختگی بودند (شکل ۷). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده است که خسارت اکسیداسیون نوری مانند تولید گونه‌های فعال اکسیژن ناشی از جذب اضافی نور در کلروپلاست‌ها، یک عامل کلیدی مؤثر در صدمه و مرگ سلول‌های در معرض تنش‌های محیطی است. کلروپلاست‌ها، محل‌های اصلی تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن هستند و انتقال الکترون فتوسنتزی، عامل اصلی تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن مانند رادیکال سوپراکسید (O_2^-) و رادیکال هیدروکسیل (OH^-) است. گونه‌های فعال اکسیژن برای ساختمان سلول‌های زنده، سمی بوده و مسئول تخریب کلروفیل، اسیدهای نوکلئیک، لیپیدهای غشایی و پروتئین‌ها هستند (مارشنر، ۱۹۹۵؛ منگل و کربی، ۲۰۰۱). تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، به‌ویژه در شرایطی افزایش می‌یابد که جذب انرژی نوری، بیشتر از ظرفیت انتقال الکترون‌های فتوسنتزی باشد. بیشتر تنش‌های محیطی، انتقال الکترون فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسیدکربن را در مراحل مختلف فرآیند فتوسنتزی کاهش می‌دهند؛ بنابراین هم‌زمانی و برهمکنش یک تنش محیطی با شدت نور بالا، ممکن است خسارت اکسیداسیون نوری شدیدی به کلروپلاست سلول‌های بافت برگ و پوست میوه‌های جوان ایجاد کند و در نتیجه می‌تواند سبب ایجاد لکه‌های زرد یا نکروزه در بافت برگ و سطح پوست میوه‌ها بشود. کاهش کلروفیل در بافت برگ موجب کاهش راندمان فتوسنتزی و در نتیجه کاهش پتانسیل عملکرد درختان می‌شود؛ اما ایجاد لکه‌های نکروزه در بافت پوست میوه‌ها که به آفتاب‌سوختگی معروف است (شکل ۷). معمولاً این آفتاب سوختگی موجب کاهش کیفیت ظاهری میوه‌ها و در برخی موارد شکاف‌خوردن آن‌ها می‌شود (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳؛ کاکمک و همکاران، ۱۹۹۴).

وضعیت تغذیه‌ای درختان به‌ویژه پتاسیم، به‌طور عمده بر انتقال الکترون فتوسنتزی و تثبیت دی‌اکسیدکربن به شکل‌های مختلف تأثیر دارد. کمبود پتاسیم، حساسیت درختان میوه را به صدمه اکسیداسیون نوری افزایش می‌دهد اگر مصرف آن کمتر از نیاز درختان باشد و درختان در معرض نور شدید قرار گیرند، معمولاً علائم کلروز برگی، نکروز و اختلال در رشد درختان بسیار شدیدتر خواهد بود. کمبود پتاسیم سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در متابولیسم کربن فتوسنتزی و مصرف کربن تثبیت شده، می‌شود (کاکمک و اینگل، ۱۹۹۹؛ منگل و کربی، ۲۰۰۱)؛ بنابراین،

کمبود پتاسیم سبب تجمع توده‌ای کربوهیدرات‌ها در برگ های منبع خواهد شد که موجب کاهش یا توقف تثبیت کربن فتوسنتزی می‌شود (کاکمک، ۲۰۰۵؛ گریسون، ۱۹۸۱؛ راهنمای تولید و تحقیقات مرکبات، ۲۰۰۷). هم‌زمان با این تغییرات در متابولیسم کربن فتوسنتزی، مقدار نسبی انرژی نورانی مصرف نشده و الکترون‌های نوری در گیاهان با کمبود پتاسیم افزایش می‌یابد که منجر به فعال‌سازی نوری اکسیژن مولکولی و خسارت اکسیداسیون نوری می‌شود. این افزایش الکترون‌های نوری و تشکیل گونه‌های فعال اکسیژن، دلیل اصلی حساسیت برگ‌ها و میوه‌های دارای کمبود پتاسیم به نور شدید و ایجاد ناهنجاری‌هایی مانند کلروز و نکروز شدن برگ‌ها و همچنین آفتاب‌سوختگی میوه‌ها است (وانچی و همکاران، ۲۰۰۴؛ کاکمک، ۲۰۰۵).

شکل ۷- میوه‌های دارای لکه‌های آفتاب سوختگی (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳)

Fig 7- Sunburn spots in citrus fruits (asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014)

پتاسیم و تنش خشکی

به‌طورکلی مصرف پتاسیم موجب افزایش تحمل به تنش‌های محیطی مانند افزایش تحمل به تنش خشکی می‌شود که به علت نقش آن در تنظیم بالانس آب داخلی و تورژساس سلول‌ها در پلاسمالمای سلول‌های ریشه است (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). تأثیر پتاسیم بر افزایش حساسیت به تنش خشکی به دلیل نقش آن در کنترل حرکت روزنه‌ها به‌خوبی مستند شده است. درختانی که کمبود شدید پتاسیم داشته باشند به علت کنترل کمتر بر باز و بسته شدن روزنه‌ها، به تنش خشکی حساس‌تر هستند. تنش خشکی در درختان موجب کاهش فتوسنتز خواهد شد و تثبیت کربن نیز به علت کاهش فراهمی دی‌اکسیدکربن از طریق روزنه‌ها، کاهش می‌یابد. کاهش فراهمی دی-اکسیدکربن موجب می‌شود الکترون‌های اضافی ناشی از فرآیندهای نوری فتوسنتز سبب احیا اکسیژن و تبدیل آن به رادیکال‌های آزاد اکسیژن شوند. این رادیکال‌های فعال اکسیژن می‌توانند سبب خسارت‌های اکسیداسیون نوری در کلروپلاست‌ها شوند که موجب خسارت به کلروفیل، اکسیداسیون لیپیدها و در نتیجه، مرگ سلول‌ها می‌شوند؛ بنابراین درختان مرکبات در معرض تنش خشکی و نور شدید به مصرف پتاسیم بیشتری نیاز دارند (شکل ۸). علاوه بر این، کاهش رطوبت خاک در منطقه ریشه موجب کاهش جریان پخشیدگی پتاسیم در محلول خاک به سمت ریشه می‌شود که می‌تواند کمبود پتاسیم را تشدید کند به‌ویژه در درختان مرکبات با بار زیاد (سال آور) در مرحله دوم رشد میوه که نیاز درختان به پتاسیم بالاست، درحالی‌که ممکن است در این زمان، پتاسیم به مقدار کافی در خاک منطقه ریشه وجود داشته باشد. همچنین کمبود پتاسیم، موجب کاهش رشد ریشه می‌شود که به علت کاهش حجم خاک در دسترس و کاهش سطح جذب می‌تواند کمبود پتاسیم در اندام هوایی را تشدید کند. درختان در شرایط تنش خشکی، مواد محلول با وزن ملکولی کم (مواد محلول سازگار) در واکوئل‌هایشان تجمع می‌دهند. این مواد محلول سازگار شامل اسیدهای آمینه، قندها و ... هستند که با واکنش‌های

معمول بیوشیمیایی سلول تداخل ندارند و فقط نقش تنظیم اسمزی در طی تنش دارند یکی از این مواد محلول سازگار، پرولین است که پتاسیم در ساخت و تجمع آن نقش مهمی دارد؛ بنابراین به‌طورکلی کمبود پتاسیم، حساسیت درختان را به تنش خشکی افزایش می‌دهد که به احتمال زیاد، ناشی از نقش پتاسیم در تنظیم حرکت روزنه‌ها، تنظیم پتانسیل اسمزی سلول‌ها و افزایش تولید اسیدآمینه پرولین است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۵). پتاسیم در تنظیم فعالیت روزنه‌ها و خثی شدن الکتریکی در سلول‌های گیاهی نقش دارد و برای بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی مانند تشکیل قندها، نشاسته، سنتز پروتئین، تقسیم سلولی و رشد مطلوب گیاهان ضروری است؛ بنابراین کمبود پتاسیم موجب اختلال در باز و بسته شدن سلول‌های استومات‌ها، کاهش جذب دی‌اکسید کربن، کاهش عملکرد و در نتیجه کاهش راندمان پایین آب مصرفی در محصولات خسارت دیده از کمبود پتاسیم می‌شود. (منگل و کرمبای، ۲۰۰۱؛ اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۳).

شکل ۸- تنش خشکی و کمبود پتاسیم در درختان نارنگی انشو (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۲)
Fig 8- Drought stress and potassium deficiency in Satsuma mandarin trees (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2012)

پتاسیم و انبارمانی

به‌طورکلی کمبود پتاسیم موجب کاهش زمان انبارمانی میوه‌ها می‌شود که ناشی از افزایش میزان تنفس سلول‌ها و افزایش احتمال آلودگی‌ها به بیماری‌های قارچی است. افزایش تنفس سلول‌ها به علت تجمع قندهای محلول و تجمع ترکیبات نیتروژنی محلول با وزن مولکولی کم در سلول‌ها است که سوبستراهای مناسبی برای آنزیم‌های تنفسی هستند. افزایش احتمال به آلودگی‌های قارچی به‌طور عمده ناشی از تأثیر کمبود پتاسیم در کاهش فعالیت برخی آنزیم‌ها و همچنین کاهش تولید برخی ماکرومولکول‌های آلی است (سریواستاوا و سینگ، ۲۰۰۳). پتاسیم در افزایش فشار اسمزی در لوله‌های غربالی و در نتیجه جریان مواد فتوسنتزی از منبع (برگ‌ها) به مخزن (میوه‌ها) نقش زیادی دارد؛ بنابراین پتاسیم در ورود ساکارز از برگ‌ها به آوندهای آبکشی و همچنین سرعت حرکت این مواد در آوندها مؤثر است. در درختانی که کمبود پتاسیم دارند مقدار کمتری از مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به میوه‌ها منتقل می‌شود که به‌طور عمده ناشی از نیاز بیشتر برگ‌ها به قند برای تنظیم اسمزی، کاهش تولید ساکارز، کاهش بارگیری آوندهای آبکشی برای ساکارز، کاهش جریان ساکارز در لوله‌های غربالی و همچنین کاهش نفوذپذیری غشا واکوئل سلول‌های ذخیره به ساکارز در بافت اندام‌های ذخیره‌ای است. مهم‌ترین عاملی که در انبارمانی میوه‌های مرکبات نقش دارد میزان قند میوه است که پتاسیم در انتقال آن از برگ‌های منبع به میوه‌ها بسیار مؤثر است (اسدی کنگرشاهی و اخلاقی امیری، ۱۳۹۵).

نتیجه‌گیری و توصیه ترویجی

پتاسیم موجود در خاک و هر کود پتاسیمی (سولفات پتاسیم، کلرید پتاسیم، نیترات پتاسیم و ....) که به خاک منطقه ریشه درختان داده شود برای جذب، ابتدا باید حل‌شده و وارد محلول خاک شوند و سپس همراه با جریان آب به سطح ریشه منتقل شوند. حرکت آب به سطح ریشه تحت تأثیر اختلاف‌پتانسیل آبی خاک اطراف ریشه و پتانسیل آبی سطح ریشه است. برای ایجاد و تشدید این اختلاف‌پتانسیل آبی، وجود ریشه‌ها و برگ‌های فعال و مؤثر ضروری است. تبخیر و تعرق از برگ‌ها موجب ایجاد کشش و حرکت جریان آب در آوندهای چوبی می‌شود که در نهایت به سلول‌های سطح ریشه می‌رسد و موجب کاهش پتانسیل آب در سطح ریشه شده و آب از خاک اطراف ریشه (با پتانسیل آبی بیشتر) به سطح ریشه (با پتانسیل آبی کمتر) منتقل می‌شود. همراه با حرکت و انتقال آب به سطح ریشه، عناصر غذایی محلول در آن نیز به سطح ریشه منتقل می شوند. به‌طورکلی از علائم شروع فعالیت مجدد درختان مرکبات، رشد سرشاخه‌های سال جاری است که در منطقه شمال کشور رشد مجدد سرشاخه‌ها عمدتاً از اواسط فرودین ماه شروع‌شده و در اواسط تا اواخر اردیبهشت‌ماه کامل می‌شود؛ بنابراین در مرکبات شمال شروع جذب عناصر غذایی از اواسط فروردین‌ماه با حداقل راندمان شروع می‌شود و سپس به ترتیب افزایش می‌یابد و در اوایل تا اواسط تابستان (با توجه به نوع رقم) به حداکثر می‌رسد. در بیشتر مناطق جنوب کشور، رشد مجدد سرشاخه‌ها از اوایل تا اواخر اسفندماه شروع و در اواخر فروردین‌ماه کامل می‌شوند؛ بنابراین جذب و انتقال عناصر به سطح ریشه با راندمان حداقلی از اسفندماه شروع و در فروردین و اردیبهشت به حداکثر می‌رسند.

به علت نقش کودهای پتاسیمی در اندازه، کیفیت و زمان انبارمانی میوه، توصیه می‌شود مقدار پتاسیمی که بر اساس تفسیر نتایج تجزیه خاک، برگ و عملکرد برای یک سال زراعی درختان بارده مرکبات تعیین می‌شود در مناطق شمالی حدود ۱۰ درصد آن خرداد، ۳۰ درصد تیر، ۳۰ درصد مرداد و ۳۰ درصد شهریور (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند)، در مناطق جنوبی (استان فارس و کرمان) حدود ۱۰ درصد آن در اردیبهشت، ۲۰ درصد خرداد، ۲۰ درصد مرداد، ۲۵ درصد شهریور و ۲۵ درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) و در مناطق جنوبی (هرمزگان) حدود ۱۰ درصد فروردین، ۲۰ درصد اردیبهشت، ۲۰ درصد خرداد و ۱۰ درصد نیمه اول تیر، ۱۰ درصد نیمه دوم مرداد، ۲۰ درصد شهریور و ۲۰ درصد مهر (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) مصرف شود. محلول‌پاشی‌های ضروری پتاسیم متناسب با فنولوژی درختان برای باغ‌های مرکبات در مناطق شمال و جنوب کشور شامل محلول‌پاشی مونوپتاسیم فسفات (با غلظت سه در هزار) با اوره (با غلظت دو تا سه در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) یا نیترات پتاسیم (با غلظت سه در هزار)، اسید فسفریک (با غلظت نیم تا یک در هزار) و اوره (با غلظت دو در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) از تشکیل میوه تا شروع ریزش فیزیولوژیک (ریزش تابستانی)، محلول‌پاشی مونوپتاسیم فسفات (با غلظت چهار تا شش در هزار) با اوره (با غلظت دو تا سه در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) یا نیترات پتاسیم (با غلظت چهار تا شش در هزار)، اسید فسفریک (با غلظت نیم تا یک در هزار) و اوره (با غلظت دو در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) از اواسط تا اواخر فاز دوم رشد میوه و محلول‌پاشی مونوپتاسیم فسفات (با غلظت پنج تا ۱۰ در هزار) با اوره (با غلظت دو تا سه در هزار) و مویان مناسب (با غلظت نیم در هزار) یا نیترات پتاسیم (با غلظت پنج تا شش در هزار)، اسید فسفریک (با غلظت یک در هزار) و اوره (با غلظت سه تا چهار در هزار) با مویان (با غلظت نیم در هزار) بلافاصله پس از برداشت میوه است.

References

1. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2016. Effect of potassium application in different phonological stages on yield and quality of Satsuma mandarin. *Soil Research*, 30(2), pp. 137-148. **DOI:10.22092/IJSR.2016.106716** (In Persian)
2. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2016. Frost in fruit trees (Foundations, Principles and practical strategies to reduce damage). Agricultural Extension and Education Publications. (In Persian)
3. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2014a. Advanced and Applied Citrus Nutrition. Agricultural Extension and Education Publications. (In Persian)
4. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2014b. Advanced and Applied Citrus Nutrition. Agricultural Extension and Education Publications. (In Persian)
5. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2011. Recognition of some environmental damage and physiological disorders of citrus fruits. Technical Journal No. 501, Soil and Water Research Institute. Karaj, Iran. (In Persian)
6. Asadi Kangarshahi, A., 2019. Nutition Management of Citrus Trees (1th ed.). Agricultural Extension and Education Publications. (In Persian)
7. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2012. Die-back, citrus decline and some environmental damages of citrus fruits in East Mazandaran. Extension Technical Publication, Mazandaran Agricultural Jihad Organization. (In Persian)
8. Asadi Kangarshahi, A. and Akhlaghi Amiri, N., 2003. The effect of potassium, magnesium and their interaction on the yield and quality of citrus fruits. The 3rd Congress of Horticultural Sciences of Iran, Karaj, Iran. (In Persian)
9. Asadi Kangarshahi, A., Akhlaghi Amiri, N., Mahmoudi, M. and Malkouti, M.J., 2001. Recognition of nutritional disorders in Mazandaran citrus orchards (restrictions and recommendations), I: macro-elements. Technical publication number 268. Agricultural education publication. Agricultural Research and Training Organization, Ministry of Agriculture, Karaj, Iran. (In Persian)
10. Bashour, I. and Sayegh, A.A., 2007. Methods of Analysis for Soils of Arid and Semi-Arid Regions. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. pp. 49-53.
11. Berger, H., Opazo, J., Drellana, S. and Galletti, L., 1996. Potassium fertilizers and orange postharvest quality. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 2, pp.759- 761.
12. Bergmann, W., 1992. Nutritional disorders of plants. Jena: Gustav Fischer Verlag. 353 p.
13. Boman, B.J., 1997. Effectiveness of fall potassium sprays on enhancing grapefruit size. *Proc. Fla. State Hort. Soc*. 110, pp. 1-7.
14. Boman, B.J., 1998. Post bloom and summer foliar K effects on grapefruit size. Proc. *Fla. State Hort. Soc*, 111, pp. 128 – 135.
15. Boman, B. J., 2001. Foliar nutrient sprays influence yield and size of 'Valencia' orange. *Proc. Fla. State Hort. Soc*, 114, pp. 83-88.
16. Boman, B.J., Obreza, T.A. and Morgan, K.T., 2008. Citrus best management practices: fertilizer rate recommendation and precision application in Florida. *Proc. Inter. Soc. Citriculture*, 1, pp. 573 – 578.
17. Cakmak, I., 2005. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. J. Plant Nutrition and Soil Science, 168, pp. 521-530. **DOI: 10.1002/jpln.200420485**
18. Cakmak, I. and Engels, C., 1999. Role of mineral nutrients in photosynthesis and yield formation. In: Mineral nutrition of crops: Mechanism and implications. Z. Rengel (ed.). The Haworth Press, NewYork, pp. 141-168.
19. Cakmak, I., Hengeler, C. and Marchner, H., 1994. Changes in phloem export of sucrose in leaves in response to phosphorus, potassium and magnesium deficiency. *J. Exp. Bot*, 45, pp. 1251 – 1257. **http://dx.doi.org/10.1093/jxb/45.9.1251**

20. Calvert. D.V., 1969. Spray application of potassium nitrate for citrus on calcareous soil. *Proceedings 1th International Citrus Symposium*, pp. 24-27.
21. Calvert, D.V. and Smith, R.C., 1972. Ćorrection of potassium deficiency of citrus with KNO_3 sprays. *J. Agric. Food. Chem*, 20, pp. 659 -661.
22. Citrus Research Intl. Production Guidelines, 2007. Integrated Citrus Production: Vol. II. Physiological disorders: Section VI. Citrus Res. Intl., Nelspuit, South Africa.
23. Erner, Y., Cohen, A., and Mangen, H., 1999. Fertilizing for high yield citrus. 2nd Edition. Inter. Potash Institute (IPI), Bulletin No 4, pp. 12-34.
24. Erner, Y., Kaplan, Y., Artzi, B. and Hamou, M., 1993. Increasing citrus fruit size using auxins and potassium. *Acta Hortic*, 329, pp.112- 119. **DOI: 10.17660/ActaHortic.1993.329.20**
25. Grierson, W., 1981. Physiological disorders of citrus fruits. *Proc. Int. Soc. Citriculture*, 3, pp. 764-767.
26. Hopkins, W.G. and Huner, N.P.A., 2004. Plant and Inorganic Nutrient. P. 241-257. Introduction to plant physiology. 3nd ed. John Wiley and Sons. Inc. Publishers.
27. Kafkafi, U. and Tarchitzky, J., 2011. Fertigation: A tool for efficient fertilizer and water management. First edition, IFA, Paris, France and IPI. Horgen. Switzerland, May 2011.
28. Karley, A.J. and White, P.J., 2009. Moving cationic minerals to edible tissues: Potassium, magnesium, calcium. *Current Opinion in Plant Biology*, 12, pp. 291–298. **DOI:10.1016/j.pbi.2009.04.013**
29. Lovatt, C.J., 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient application to increase fruit set and size. Hort. *Technology*, 9, pp. 606-612.
30. Marschner, H., 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2nd Edition Academic Press, San Diego, 889pp.
31. Malkuti, M. J., Shahabi, A.A. and Bazargan, K., 2015. Potassium in agriculture (the role of potassium in the production of healthy agricultural products). Mobaleghan publications, Tehran, Iran. (In Persian)
32. Mengel, K. and Kirkby, E. A., 2001. Principles of plant nutrition. 5th edition. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 848pp.
33. Monselise, S.P., 1997. Citrus fruit development: Endogenous systems and external regulation. *Proc. Int. Soc. Citricult*, 2, pp. 664-668.
34. Mostafa, E.A.M. and Saleh, M.M.S., 2006. Response of Baledy mandarin trees to girdling and potassium sprays under sandy soil condition. *Res. J. Agric and Biol. Sci*, 2, pp. 137-141. **https://www.researchgate.net/publication/23545915**
35. Obreza, T.A., 2003. Importance of potassium in Florida citrus nutrition program. Better Crops, 87, pp. 19-22.
36. Obreza, T.A. and Morgan, K.T., 2011. Nutrition of Florida Citrus Trees. UF, University of Florida, IFAS Extension.
37. Page, A.L., Nartin, J.P. and Ganje, T.J., 1963. Foilar absorption and translocation of potassium by citrus. *Proc. Am. Soc. Hort. Sci*, 82, pp. 165-171.
38. Roberts, T.L., 2008. Improving nutrient use efficiency. IFA Agriculture Conference, 27Feb, Kunming China.
39. Sarrwy, S.M.A., heikh, M.H.S., kabeil, S. and Shamseldin, A., 2012. Effect of foliar application of different potassium forms supported by zinc and leaf mineral contents, yield and fruit quality of Baledy mandrine trees. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 12, pp. 490-498. **DOI: 10.5829/idosi.mejsr.2012.12.4.1698**
40. Shirgure, P. S. and Srivastava, A. K., 2013. Plant growth, leaf nutrient status, fruit yield and quality of Nagpur mandarin (Citrus reticulate Blanco) as influenced by potassium (K) fertigation with four potash fertilizer sources. *Scientific J. Crop. Sci*., 2(3), pp. 36-42.

41. Srivastava, A.K. and Singh, S., 2003. Citrus Nutrition. International Book Distributing Co. INDA.
42. Srivastava, A.K., 2013. Nutrition deficiency symptomology in citrus: An effective diagnostic tool or iust an aid for post-mortem analysis. *Agricultural Advances*, 2, pp. 177-194.
43. Tucker, D.P.H., Alva, A.K., Jackson, L.K. and Wheaton, T.A., 1995. Nutrition of Florida Citrus, Univ. Fla., IFAS, SP-169. 61pp.
44. Wunche, J.N., Bowen, J., Woolf, A. and McGhie, T., 2004. Sunburn on apples – causes and control mechanisms. *Acta Hort*, 636, pp. 631 – 636.
DOI: 10.17660/ActaHortic.2004.636.78
45. Yasini, K., Malkuti, M.J., Asadi Kangarshahi, A. and Roadbari, S., 2021. Two -year study on the role of balanced fertilization in orange fruit yield increase and tolerance to frost in orange fruit. *J. Hort. Plants Nutr*, 4(2), pp. 137-148. **DOI:10.22070/HPN.2022.5333.1087** (In Persian)