

## 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 واجدبی 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



افزایش نمی‌دهد (تاگر 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 می‌شود (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 برگ‌ریزی به شکل زرد شدن نوک و حاشیه برگ‌های مسن ظاهر می‌شود (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 بهینه‌سازی توصیه‌های کودی پتاسیم بسیار مؤثر باشد.

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 برگ‌های 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 مرستمی 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 می‌رسد (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



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

به‌طور کلی شعاع یون پتاسیم دهیدراته (آبگیری شده) حدود  $0/133$  نانومتر است و تعداد اکسیژن‌های اطراف یون پتاسیم دهیدراته (دارای آب) از ۸ تا ۱۴ عدد تغییر می‌کند لذا پیوندهای پتاسیم-اکسیژن بسیار ضعیف بوده و انرژی دهیدراته آن‌ها، کمتر از انرژی دهیدراته منیزیم و کلسیم است بنابراین نسبت غلظت محلول به غلظت تبدلی 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 به‌طور کلی، 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 تبدلی نیز می‌تواند به‌تدریج به‌وسیله شکل‌های غیرقابل استفاده‌تر به آرامی 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 هوازدگی 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 کمپلکس‌های 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. به‌طور کلی 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 شکل‌های 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).

### تحرك پتاسیم در خاک و انتقال آن به سطح ریشه

پتاسیم موجود در خاک و هر کود پتاسیمی (سولفات پتاسیم، کلرید پتاسیم، نترات 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 خاک‌های با بافت سنگین و خاک‌های دارای رس‌های تثبیت‌کننده 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 فروردین ماه شروع شده 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 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 می‌رسد (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 می‌کند. 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 می‌یابد و نقش اساسی در رشد میوه دارد. کمبود پتاسیم، اندازه میوه را به میزان زیادی کاهش می‌دهد.

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 چین خوردگی پوست میوه‌ها (کرزینگ) 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؛ سرواستاوا، ۲۰۱۳):**

افزایش اندازه میوه (شکل ۲) ضخیم و خشن شدن پوست میوه سنگ‌پایی شدن میوه به‌ویژه در نارنگی‌های انشو، کلماتین-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

**مهم‌ترین علائم ظاهری کمبود پتاسیم در درختان مرکبات (اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸؛ سرواستاوا، ۲۰۱۳):**

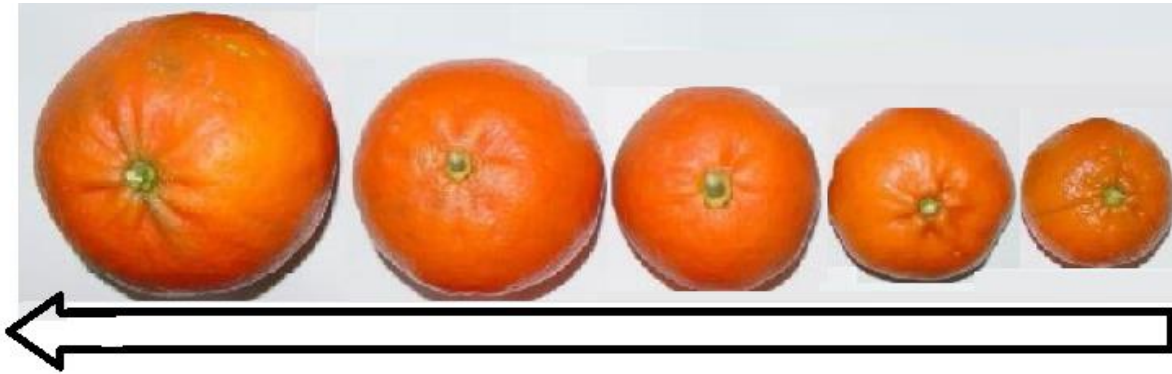
علائم ابتدا با زرد شدن نوک و حاشیه برگ‌ها شروع می‌شود سپس در نوک و حاشیه‌ها توسعه می‌یابد. بخش‌های مرده یا لکه‌ها ابتدا در برگ‌های مسن‌تر ظاهر می‌شود. به‌طور کلی جابجایی و انتقال پتاسیم از برگ‌های بالغ و ورود آن به برگ‌های جوان و دیگر اندام‌های مریستمی در حال رشد، موجب زرد شدن برگ‌ها می‌شود و در کمبود 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 سرشاخه‌ها 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، کلماتین‌ها و لیمو).

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)

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



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 کنگرشاهی، 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)

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

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

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

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 ( $R^2=0.92^{**}$ ) 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 می‌سازد. 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. به‌طور کلی 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 نترات پتاسیم و.....) به شکل محلول‌پاشی برای افزایش اندازه و بهبود کیفیت میوه، در مراحل خاص فنولوژی (به‌ویژه پس از

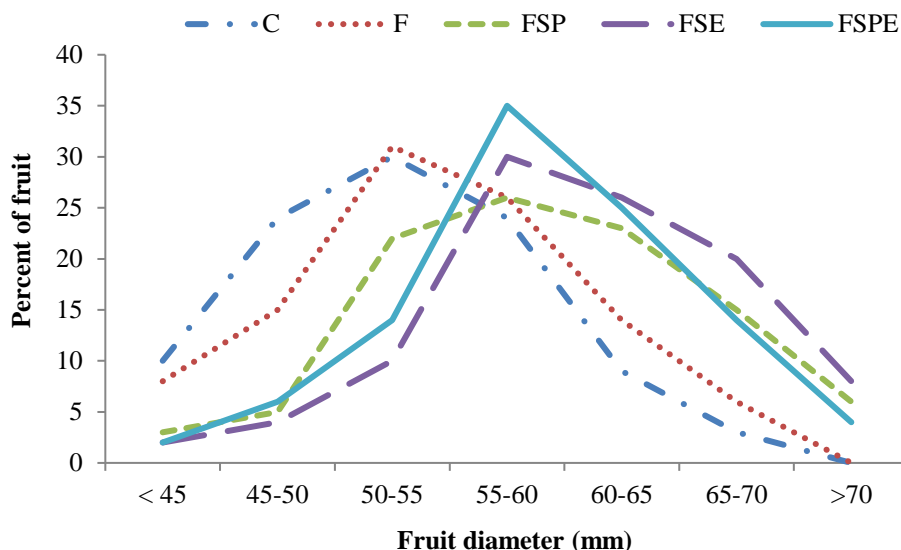
### کوددهی خاکی

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.

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 بازپسندی 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 میگو، مصرف زیاد پتاسیم می‌تواند درصد میوه‌های پاستنگی را به‌شدت افزایش دهد و موجب کاهش بازپسندی آن‌ها شود (ارنر و همکاران، ۱۹۹۹؛ اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸).





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 به علاوه محلولپاشی پس از تشکیل میوه، FSE: کودآبیاری به علاوه محلولپاشی پس از ریزش فیزیولوژی میوه، FSPE: کودآبیاری به علاوه محلولپاشی 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)

درصد پتاسیم (K <sub>2</sub> O)	فرمول شیمیایی	کود
Potassium percent (K <sub>2</sub> O)	Chemical formula	Fertilizer
50	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	سولفات پتاسیم (سنگی یا نامحلول) Potassium sulfate (insoluble)
22	K <sub>2</sub> Mg(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	سولفات پتاسیم منیزیم Potassium, magnesium sulfate

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)

درصد پتاسیم (K <sub>2</sub> O)	فرمول شیمیایی	کود
Potassium percent (K <sub>2</sub> O)	Chemical formula	Fertilizer
50	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	سولفات پتاسیم (سولوپتاس)
60	KCl	کلرید پتاسیم
44	KNO <sub>3</sub>	نیترات پتاسیم

مقادیر زیادی پتاسیم در مقایسه با سایر عناصر غذایی نیاز دارند و سرعت انتشار پتاسیم از سطوح تبدلی و تثبیت شده در سطوح تبدلی رس‌های خاک کمتر از میزان تقاضای پتاسیم این درختان به‌ویژه در مرحله دوم رشد میوه است،

#### کود آبیاری

کودآبیاری مناسب‌ترین روش برای مصرف پتاسیم در باغ‌های مرکبات است (بومن، ۱۹۹۸؛ اسدی کنگرشاهی، ۱۳۹۸). با توجه به این‌که درختان مرکبات به

تحرك آن كم شود. در مقابل در خاك‌های شنی، با مقادیر بسیار كم رس یا مواد آلی، توانایی نگهداری پتاسیم بسیار كم است لذا شستشوی آن به لایه‌های پایینی پروفیل خاك 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)

درصد پتاسیم (K <sub>2</sub> O)	فرمول شیمیایی	کود
Potassium percent (K <sub>2</sub> O)	Chemical formula	Fertilizer
50	K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	سولفات پتاسیم (سولوپتاس)
60	KCl	کلرید پتاسیم
34	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	مونوپتاسیم فسفات
53	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	دی پتاسیم فسفات
44	KNO <sub>3</sub>	نیترات پتاسیم
26	KH <sub>2</sub> PO <sub>3</sub>	فسفیت پتاسیم

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 میوه‌ها (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

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 خاك اشغال شده توسط ریشه فعال كم است و تمام حجم خاك منطقه ریشه، به درختان برای تأمین پتاسیم كمك نمی‌کند (كافكافی و تارشیتزکی، ۲۰۱۱). در خاك‌هایی که دارای مقدار قابل‌توجهی ماده آلی یا رس هستند، تحرك پتاسیم در خاك محدود است، زیرا بار مثبت یون پتاسیم موجب می‌شود که این یون توسط کمپلکس تبادل کاتیونی ذرات بار منفی خاك نگهداری و

#### محلول‌پاشی

محلول‌پاشی پتاسیم نمی‌تواند جایگزین مصرف خاکی آن شود بلکه بیشتر به‌عنوان یک روش تکمیلی استفاده می‌شود و محلول‌پاشی پتاسیم در خاك‌های آهکی در رفع كمبود 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،

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 محلول‌پاشی پتاسیم پس از تشکیل میوه و محلول‌پاشی در طول مرحله دوم توسعه میوه، موجب افزایش نسبی تعداد میوه‌های 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 میوه‌چه‌ها 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.

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 نترات پتاسیم در افزایش پتاسیم برگ در مقایسه با مصرف خاکی نترات پتاسیم و دیگر کودهای پتاسیمی، بسیار سریع‌تر است (پیچ و همکاران، ۱۹۶۳؛ کالورت و اسمیت، ۱۹۷۲؛ روبرتس، ۲۰۰۸). نتایج مطالعات مختلف نشان داده است که محلول‌پاشی پتاسیم می‌تواند اندازه میوه‌های مرکبات را حدود ۲۵ تا ۳۵ درصد 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. هنگامی که 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 نمی‌شود 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، پیچ‌ها، 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

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)

درصد پتاسیم (K <sub>2</sub> O) Potassium percent (K <sub>2</sub> O)	فرمول شیمیایی Chemical formula	کود Fertilizer
34	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	مونوپتاسیم فسفات Monopotassium phosphate
53	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	دی پتاسیم فسفات Dipotassium phosphate
44	KNO <sub>3</sub>	نیترات پتاسیم Potassium nitrate
26	KH <sub>2</sub> PO <sub>3</sub>	فسفیت پتاسیم Potassium phosphite

## منابع کودی پتاسیم و امکان اختلاط آن‌ها

نتایج مقایسه تأثیر کودهای مونوپتاسیم فسفات، نیترات پتاسیم و سولفات پتاسیم بر عملکرد مرکبات نشان داد که بیشترین عملکرد از کود مونوپتاسیم فسفات حاصل شد و کودهای نیترات پتاسیم و سولفات پتاسیم به ترتیب پس از آن قرار داشتند. بیشترین درصد قند میوه نیز از کود مونوپتاسیم فسفات بود و پس از آن سولفات پتاسیم و نیترات پتاسیم قرار گرفتند. بیشترین درصد عصاره و کمترین اسیدیته عصاره نیز از مونوپتاسیم فسفات بود بیشترین شاخص برداشت میوه نیز به ترتیب از مونوپتاسیم فسفات، سولفات پتاسیم، نیترات پتاسیم حاصل شد (شیگور و سریواستوا، 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 مونوپتاسیم فسفات حاصل شد. به‌طور کلی 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 کودی 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 محلول پاشی (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)

سولفات منگنز Manganese sulfhate	سولفات آهن Iron sulfate	نیترات منیزیم magnesium nitrate	سولفات پتاسیم Potassium sulfate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات کلسیم Calcium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	اوره Urea	کود Fertilizer
√	√	R	R	√	R	√	R	√	نیترات پتاسیم Potassium nitrate
اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید فسفریک Phosphoric acid	سولفات منیزیم magnesium sulfate	کلات‌های مس Copper chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های آهن Iron chelates	سولفات مس Copper sulfhate	سولفات روی Zinc sulfate	کود Fertilizer
√	√	√	√	√	√	√	√	√	نیترات پتاسیم Potassium nitrate

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)  
√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

سولفات پتاسیم Potassium sulfate	سولفات منگنز Manganese sulfhate	سولفات آهن Iron sulfate	فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	نیترات منیزیم magnesium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات کلسیم Calcium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	اوره Urea	کود Fertilizer
R	√	√	√	√	R	√	√	√	√	کلرید پتاسیم Potassium chloride
اسید نیتریک Nitric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید فسفریک Phosphoric acid	سولفات منیزیم magnesium sulfate	کلات‌های مس Copper chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های آهن Iron chelates	سولفات مس Copper sulfhate	سولفات روی Zinc sulfate	کود Fertilizer
√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	کلرید پتاسیم Potassium chloride

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)  
√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

فسفات پتاسیم Potassium phosphate	سولفات منگنز Manganese sulfhate	سولفات آهن Iron sulfate	فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	نیترات منیزیم magnesium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات کلسیم Calcium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	اوره Urea	کود Fertilizer
R	R	R	√	X	X	X	R	√	√	سولفات پتاسیم Potassium sulfate
اسید نیتریک Nitric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید فسفریک Phosphoric acid	سولفات منیزیم magnesium sulfate	کلات‌های مس Copper chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های آهن Iron chelates	سولفات مس Copper sulfhate	سولفات روی Zinc sulfate	کود Fertilizer
√	R	√	R	√	√	√	√	R	R	سولفات پتاسیم Potassium sulfate

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)  
√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

فسفات پتاسیم Potassium phosphate	سولفات منگنز Manganese sulfhate	سولفات آهن Iron sulfate	فسفات آمونیوم Ammonium phosphate	نیترات منیزیم magnesium nitrate	کلرید کلسیم Calcium chloride	نیترات کلسیم Calcium nitrate	سولفات آمونیوم Ammonium sulfate	نیترات آمونیوم Ammonium nitrate	اوره Urea	کود Fertilizer
R	X	X	R	X	X	X	√	√	√	منو یا دی پتاسیم فسفات Meno or Dipotassium phosphate
اسید نیتریک Nitric acid	اسید سولفوریک Sulfuric acid	اسید فسفریک Phosphoric acid	سولفات منیزیم magnesium sulfate	کلات‌های مس Copper chelates	کلات‌های روی Zinc chelates	کلات‌های منگنز Manganese chelates	کلات‌های آهن Iron chelates	سولفات مس Copper sulfhate	سولفات روی Zinc sulfate	کود
√	√	R	X	R	R	R	R	X	X	منو یا دی پتاسیم فسفات Meno or Dipotassium phosphate

√- سازگار (قابل اختلاط)، R- کاهش حلالیت، X- ناسازگار (غیر قابل اختلاط)  
√-compatible, R- reducing solubility, X- incompatible

## پتاسیم و اندازه میوه

به‌طور کلی 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. به‌طور کلی 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<sup>۱</sup> یا آلبیدو<sup>۲</sup> و یک لایه خارجی پوست خارجی<sup>۳</sup> یا فلاپودو<sup>۴</sup> تشکیل شده است. در طول مرحله اول توسعه میوه (مرحله تقسیم سلولی)، عمده سلول‌های فلاپودو تشکیل می‌شوند و پس‌از آن تقسیم سلولی فلاپودو 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 انتهایی 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. به‌هر حال به نظر می‌رسد تنش در طول مرحله اول توسعه میوه (II) که عمده یا بخش اعظم سلول‌های فلاپودو 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).

3- exocarp

4 - flavedo

1- mesocarp

2- albedo



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

به‌طور کلی 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). به‌طور کلی، 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. از آنجایی‌که خسارت سرما اغلب موجب دهیدراسیون پروتوپلاسم می‌شود لذا مصرف پتاسیم می‌تواند 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



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.

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



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)

سازی آنزیم‌های اکسید کننده NADPH و گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود و کمبود پتاسیم منجر به افزایش معنی‌داری در فعالیت آنزیم‌های اکسید کننده NADPH با تولید هم‌زمان 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، مارشور، ۱۹۹۵)؛ بنابراین، تولید گونه‌های 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،

#### 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 پلاسماهای سلول‌های ریشه می‌شود (اسدی کنگرگاهی، 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

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 تنش‌های 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 (سریوستاوا 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 برگ، 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،

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).

کمبود پتاسیم سبب تجمع توده‌ای کربوهیدرات‌ها در برگ‌های 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



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)

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

#### 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 پلاسماالمای 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

دارد و برای بسیاری از فرایندهای 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)

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 به طور 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).

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 به‌طور کلی 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 اسیدآمین پترولین است (ملکوتی و همکاران، ۱۳۹۵). پتاسیم در تنظیم فعالیت روزنه‌ها و خشی شدن الکتریکی در سلول‌های گیاهی نقش

#### پتاسیم و انبارمانی

به‌طور کلی 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 سوسترهای 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

## نتیجه گیری و توصیه ترویجی

پتاسیم موجود در خاک و هر کود پتاسیمی (سولفات پتاسیم، کلرید پتاسیم، نترات پتاسیم و ...) که به خاک منطقه ریشه درختان داده شود برای جذب، ابتدا باید حل شده و وارد محلول خاک شوند و سپس همراه با جریان آب به سطح ریشه منتقل شوند. 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 نیز به سطح ریشه منتقل می‌شوند. به‌طور کلی از علائم شروع فعالیت مجدد درختان مرکبات، رشد سرشاخه‌های سال جاری است که در منطقه شمال کشور رشد مجدد سرشاخه‌ها عمدتاً از اواسط فروردین ماه شروع شده 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 نترات 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 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 نترات 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 نترات 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 phenological 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. Nutrition Management of Citrus Trees (1<sup>th</sup> 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 3<sup>rd</sup> 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 1<sup>th</sup> International Citrus Symposium*, pp. 24-27.
21. Calvert, D.V. and Smith, R.C., 1972. Correction of potassium deficiency of citrus with KNO<sub>3</sub> 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. 2<sup>nd</sup> 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 Hort*, 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. 3<sup>rd</sup> 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. 2<sup>nd</sup> 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. 5<sup>th</sup> 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)