نشریه علمی مدیریت اراضی/ جلد ۱۱ / شماره ۲ / ۱۴۰۲. ص۲۰۹- ۲۲۸
https://doi.org/10.22092/lmj.2023.362505.333

مدیریت کوددهی نیتروژن 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: خرداد ۱۴۰۲ و پذیرش: مرداد ۱۴۰۲

چکیده

هدف از این بررسی، ارزیابی مدیریت کوددهی نیتروژن برای درختان مرکبات بود. این ارزیابی می‌تواند به شناخت بهتر نیاز نیتروژنی، مقدار کوددهی، زمان مناسب کوددهی، روند جذب و ذخیره‌سازی نیتروژن در این درختان منجر شود که در بهینه‌سازی توصیه‌های کودی نیتروژن بسیار مؤثر است. به طور میانگین در درختان یک باغ بارده یک هکتاری مرکبات حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم نیتروژن وجود دارد که حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد آن در برگ‌های این درختان می‌باشد و به طور میانگین ۱۵ تا ۲۰ کیلوگرم نیتروژن در سال در ساختار اسکلتی این درختان رسوب و ذخیره می‌شود. بر اساس این نتایج و بر اساس بررسی بلندمدت آزمایش‌های کوددهی با مرکبات در ایران و سایر نقاط مختلف جهان برای پایداری تولید، بهبود عملکرد و کیفیت میوه، رشد مناسب و سلامت درختان مصرف حدود ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال نیاز است که حدود ۳۰ تا ۵۰ از این نیتروژن مصرفی در تولید میوه‌ها مشارکت دارد، حدود یک دهم آن در ساختار درختان رسوب و ذخیره می‌شود و تعادل بین نیتروژن مصرفی و جذب شده توسط درختان با شستشوی نیتروژن از پروفیل خاک و تلفات گازی نیتروژن ایجاد می‌شود. نتایج آزمایش با کودهای نشاندار (^{15}N) نشان داد که بیشترین راندمان جذب نیتروژن در درختان مرکبات از تشکیل میوه تا بلوغ میوه رخ می‌دهد و پس از برداشت و به ویژه در زمان حداقل فعالیت (زمستان) و اوایل فصل رشد راندمان جذب بسیار کم است. بنابراین در زمانی که جذب نیتروژن از خاک هنوز بسیار کم است ذخیره نیتروژنی 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. همچنین نیتروژن موجود در مواد آلی خاک حدود ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلوگرم در هکتار در باغ‌های با یک تا دو درصد ماده آلی است این نیتروژن موجود در مواد آلی خاک و نیتروژن ذخیره درختان نقش مهمی در تنظیم عرضه نیتروژن به اندام‌های جدید در حال رشد و توسعه، به ویژه در شروع فصل رشد دارند. بنابراین هدف از کوددهی نیتروژن تضمین پایداری تولید، رشد مناسب درختان و بهبود عملکرد و کیفیت میوه است و کوددهی خاکی قبل از گلدهی و تشکیل میوه تاثیری در رشد سرشاخه‌های بهاره، گلدهی و تشکیل میوه در سال جاری ندارد. لذا توصیه می‌شود که باغ‌داران، کوددهی قبل از گلدهی و تشکیل میوه را با حداکثر ۱۰ الی ۱۵ درصد نیاز سالانه درختان شروع نمایند و به تدریج، مقدار مصرف (درصدی از نیاز سالانه) را متناسب با فنولوژی رشد میوه افزایش داده و در اواسط مرحله اول تا اوایل مرحله دوم رشد میوه به حداکثر مقدار مصرف ارتقا داده شود. سپس در اواسط مرحله دوم رشد میوه (با توجه به رقم) مصرف نیتروژن متوقف یا به حداقل مقدار کاهش داده شود.

واژه‌های کلیدی: تعادل نیتروژن، تغذیه نیتروژن، نیاز نیتروژن، نیتروژن ذخیره

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

نوع مقاله: مروری

مقدمه

نیتروژن عنصری ضروری در تعدادی از ترکیبات آلی عمومی و مهم (اسیدهای آمینه، پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک) است و حدود دو تا چهار درصد وزن خشک گیاهان را تشکیل می‌دهد. در بیشتر خاک‌ها، نیتروژن مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد است. لذا مدیریت مصرف نیتروژن می‌تواند بیشترین تأثیر در افزایش عملکرد محصول داشته باشد (Mengel and Kirkby, 1987). عملکرد محصول بیشتر به فراهمی نیتروژن غیرآلی بستگی دارد و مصرف بهینه کودهای نیتروژنی موجب افزایش تولید می‌شود و به‌طورکلی بدون مصرف کودهای نیتروژنی تأمین غذا برای کل جمعیت جهان غیر ممکن است (Mengel, 1992). از طرف دیگر، قیمت کمتر کودهای نیتروژنی در مقایسه با دیگر کودها و ضرورت مصرف آن برای افزایش تولید، منجر به توسعه مصرف سطوح بالای کودهای نیتروژنی شده است که به نوبه خود می‌تواند موجب بروز مشکلات اکولوژی و زیست‌محیطی به‌ویژه در مناطق شمالی کشور شود.

به‌طورکلی برخی پژوهش‌ها در مورد درختان میوه نشان داده است که نیتروژن مصرفی در اوایل بهار، بیشتر به رشد رویشی سرشاخه‌ها اختصاص پیدا می‌کند درحالی‌که نیتروژن مصرفی در آخر فصل بیشتر به اندام‌های ذخیره مانند پوست ریشه‌ها و تنه درختان می‌رود و مقدار کمی هم به جوانه‌های درحال‌توسعه منتقل می‌شود و محلول‌پاشی پس از برداشت یکی از راهکارهای عملی برای افزایش نیتروژن ذخیره جوانه‌ها در اواخر فصل رشد است (Sanchez, et al., 1992; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014). در اواخر فصل رشد درختان میوه، انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها به بافت‌های چوبی، به حفظ و ذخیره نیتروژن کمک می‌کند. این نیتروژن ذخیره شده، در اوایل فصل بعدی رشد قابل استفاده است. برای اصلاح و بهبود مدیریت و راندمان مصرف کودهای نیتروژنی در باغ‌ها، شناخت روند ذخیره نیتروژن، راهکارهای افزایش ذخیره نیتروژن، انتقال مجدد، چرخش داخلی آن و سهم آن نسبت به بودجه کل نیتروژن درختان بسیار ضروری است. همچنین بررسی تغییرات نیتروژن ذخیره در درختان و مشارکت آن در رشد رویشی، تشکیل گل و میوه درختان در اوایل فصل، اهمیت زیادی در مقدار و برنامه‌ریزی کوددهی درختان دارد. شناخت بهتر این نیتروژن ذخیره و چرخش داخلی آن همراه با راندمان بیشتر مصرف کودهای نیتروژنی، ممکن است به‌طور واقعی منجر به افزایش راندمان مصرف، راندمان فیزیولوژیکی و راندمان عملکرد و همچنین کاهش مصرف بی‌رویه کودها در باغ‌ها شود. سود حاصل از این کاهش مصرف نه فقط ناشی از کاهش هزینه تولید و بهبود درک عمومی کشاورزان مدرن است، بلکه ناشی از افزایش تشکیل میوه، افزایش عملکرد و بهبود کیفیت بهتر میوه‌های تولیدی است که می‌تواند به باغدار برگردد (Sugar et al., 1992; Sanchez et al., 1995).

به‌طورکلی حدود ۱۰۰ تا ۴۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال برای یک باغ بارده مرکبات در مناطق مختلف جهان مصرف می‌شود. نیتروژن به‌صورت دوره‌ای برای تأمین نیتروژنی که توسط برداشت میوه از باغ خارج شده و همچنین نیتروژن ذخیره مصرف می‌شود. با این حال، نیاز سالانه نیتروژن درختان میوه بسیار کمتر از محصولات زراعی است. هدف این مقاله، درک بهتر اهمیت نیتروژن، ارزیابی پاسخ درختان مرکبات به کوددهی نیتروژن، شناخت تراز نیتروژنی و مقدار کوددهی، زمان مناسب کوددهی، ذخیره‌سازی و انتقال مجدد، کوددهی خاکی، کودآبیاری و محلول‌پاشی نیتروژن برای درختان مرکبات است که می‌تواند در مدیریت و بهینه‌سازی توصیه‌های کودی نیتروژن بسیار مؤثر باشد.

اهمیت نیتروژن

نیتروژن از پرمصرف‌ترین عنصر غذایی برای درختان میوه است. در درختان میوه بیشتر نیتروژن به شکل نیترات توسط ریشه‌ها جذب می‌شود و مقداری که به شکل آمونیم جذب می‌شود بسیار کمتر از نیترات است. جذب

نیترات به انرژی نیاز دارد بنابراین ریشه‌ها، باید کربوهیدرات برای جذب آن مصرف نمایند. نیترات در گیاه، ابتدا به آمونیم و سپس به ترکیبات آمونیمی تبدیل می‌شود. این ترکیبات آمونیمی شامل آمینواسیدها، آمین‌ها و آمیدها است. بیشتر نیتروژن به شکل ترکیبات آمونیمی در درختان میوه ذخیره و انتقال می‌یابد (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014; Shear and Faust, 1980). نتایج گزارش‌های مختلف نشان می‌دهد که مدیریت مصرف نیتروژن در طی فصل رشد، به‌ویژه مصرف خاکی آن در اواخر فصل رشد موجب افزایش نیتروژن ذخیره در سرشاخه‌ها، برگ‌ها و ریشه‌های فیبری می‌شود و این افزایش نیتروژن ذخیره موجب افزایش گلدهی و تشکیل میوه در سال بعد خواهد شد (Srivastava and Singh, 2003; Cox et al., 2001; Tachibana and Yahataa. 1996).

در بیشتر گیاهان چوبی، نیتروژن مورد نیاز اندام‌های جدید در اوایل فصل رشد توسط نیتروژن آلی از دیگر اندام‌های درخت مانند برگ‌ها، جوانه‌ها، سرشاخه‌ها و ریشه‌ها تهیه می‌شود، نتایج برخی مطالعات نشان داده است که بیشتر از ۷۰ درصد نیاز نیتروژن اندام‌های جدید در اوایل فصل رشد از نیتروژن ذخیره‌شده در اندام‌های قدیمی تأمین می‌شود، همچنین در مورد گل‌ها، حدود ۸۰ درصد از نیاز نیتروژن آن‌ها از نیتروژن ذخیره‌شده در اندام‌های قدیمی می‌آید؛ اما با افزایش سن اندام‌های جدید، نقش نیتروژن محلول خاک در تأمین نیتروژن مورد نیاز آن‌ها افزایش می‌یابد (Dong et al., 2002).

پاییز مناسب‌ترین زمان برای مصرف برخی عناصر غذایی برای درختان میوه است. به‌ویژه اگر این عناصر برای این درختان محدود کننده باشند. نیتروژن مصرف شده در زمان گفته شده در درختان ذخیره و برای رشد اوایل فصل و همچنین تأمین نیتروژن جوانه‌های گل و رشد اولیه میوه‌چه‌ها استفاده می‌شود؛ بنابراین، برای باغدار اهمیت دارد که درختان با نیتروژن کافی به خواب بروند. محلول‌پاشی اوره در پاییز، روشی مناسب برای تأمین نیتروژن درختان میوه است. این نیتروژن، سپس به آسانی به خارج از برگ انتقال پیدا می‌کند و وارد محل‌های ذخیره طولانی‌مدت می‌شود. این روش برای مناطقی با بارندگی‌های زیاد در اوایل فصل رشد و سطح آب زیرزمینی بالا مناسب‌تر است (Xiong et al., 2021; Sanchez, et al., 2006).

پویایی نیتروژن در بافت‌های درختان میوه نشان داده است که آزادسازی نیتروژن از اندام‌های ذخیره برای رشد فصل جاری تا حدود دو ماه بعد از شکوفایی گل‌ها ادامه دارد (Rufat and Dejong, 2001). دوره گلدهی و تشکیل میوه در درختان میوه، از حیاتی‌ترین مراحل فنولوژی رشد میوه در این درختان است و بیشترین تأثیر بر عملکرد و کیفیت نهایی میوه دارد. در این مرحله بیشترین تقاضا برای عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن وجود دارد. در مقابل، درجه حرارت خاک در این زمان معمولاً پایین است و این درجه حرارت پایین منطقه ریشه موجب کاهش فعالیت‌های متابولیک ریشه، حلالیت عناصر غذایی در محلول خاک و انتقال آن‌ها در گیاه می‌شود؛ بنابراین توانایی درختان برای استفاده از عناصر غذایی خاک به بسیاری از عوامل دیگر، غیر از تقاضای گیاه بستگی دارد و این عوامل ارتباطی با تقاضای گیاه ندارند (Lovatt et al., 1988; Asadi Kangarshahi, 2019).

بنابراین با توجه به نیاز زیاد درختان میوه به نیتروژن و جذب پایین آن به‌ویژه در اوایل فصل، ارائه روش‌های مناسب برای افزایش کارایی آن و کاهش هدرفت آن یکی از اهداف بیشتر برنامه‌های تحقیقاتی در جهان است. یکی از روش‌های بهبود کارایی نیتروژن در درختان میوه به‌ویژه در اوایل فصل رشد، محلول‌پاشی پاییزه اوره در درختان میوه بعد از برداشت میوه است که می‌تواند مصرف خاکی نیتروژن را کاهش یا حتی در صورت امکان جایگزین آن شود و در این روش، نیتروژن با کارایی بالا توسط برگ‌ها جذب می‌شود (Rosecrance et al., 1998). پس از محلول پاشی اوره، نیتروژن وارد شده به برگ‌ها به‌تدریج به برخی اندام‌های دائمی درختان انتقال و ذخیره می‌شود و این نیتروژن ذخیره‌شده در بهار سال بعد به‌آسانی برای

گل‌ها، میوه‌چه‌ها و رشد سرشاخه‌ها قابل استفاده است (Rosecrance et al., 1998; Tagliavini et al., 1998). نیتروژن محلول‌پاشی شده به شکل اوره در پاییز به‌آسانی توسط برگ‌ها جذب می‌شود و در کل اندام‌های درختان از جمله ریشه توزیع می‌شود؛ بنابراین محلول‌پاشی پاییزه می‌تواند روش مناسبی برای جایگزینی مصرف خاکی در اوایل فصل سال به‌ویژه در مناطقی با بارندگی بیشتر در ابتدای فصل رویشی باشد که می‌تواند موجب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش پتانسیل آلودگی‌های زیست‌محیطی شود (Johnson et al., 2001).

پاسخ درختان مرکبات به مصرف کودهای نیتروژنی

مبنای اولیه برای ارزیابی نیاز سالانه نیتروژن، مقدار نیتروژن و توزیع آن در اندام‌های مختلف درختان مرکبات است. به دلیل مشکلات میدانی در تعیین وزن ریشه‌های درختان میوه، داده‌های چندانی در مورد کل ماده خشک، مقدار و توزیع نیتروژن وجود ندارد. وزن ماده خشک یک درخت بالغ مرکبات بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم است و ۷۰ تا ۹۰ درصد از این ماده خشک به اندام‌های دائمی مانند شاخه‌ها، تنه و ریشه‌ها است؛ اما حدود ۳۰ تا ۶۰ درصد از کل نیتروژن درختان در اندام‌های سالانه درختان (میوه‌ها و برگ‌ها) وجود دارد (بخش بزرگی از برگ‌های مرکبات سالانه تجدید می‌شوند)؛ اما با توجه به وضعیت درختان، محتوای نیتروژن بخش‌های مختلف درختان در سال‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Dasberg, 1978).

برای تخمین نیاز کودی نیتروژن درختان با استفاده از این داده‌ها، باید به دو سؤال مهم پاسخ داده شود: چه مقدار نیتروژن در سال در بخش‌های دائمی درخت ذخیره می‌شود و چه بخشی از نیتروژن برگ‌ها، شکوفه‌ها، میوه‌های ریزش کرده و اندام‌های هرس‌های شده در کف باغ می‌تواند مجدداً از خاک بازیافت شود. بر اساس پژوهش‌های متعدد میدانی حدود ۳۰ تا ۶۰ گرم نیتروژن در بخش‌های دائمی هر درخت (معادل ۲۰ کیلوگرم در هکتار) ذخیره می‌شود که کمتر از یک دهم نیتروژن موجود در میوه‌ها و برگ‌ها است (Dasberg, 1978; Feigenbaum et al., 1986). میوه‌های درختان نیز دارای مقدار زیادی نیتروژن است که با برداشت میوه، این بخش نیتروژن از باغ و سیستم خارج می‌شود. نیتروژن آلی موجود در خاک نیز متناسب با شرایط اقلیمی و مدیریتی به‌تدریج به تعادلی پایدار در خاک می‌رسد (Stevenson, 1982). این‌که چه مقدار از نیتروژن اندام‌های مختلف درختان هرس شده یا ریخته شده در کف باغ مجدداً بازیافت می‌شود یا به شکل ترکیبات فرار نیتروژن (N_2، NH_3 یا N_20) تصعید یا به شکل نیترات به لایه‌های پایین خاک شسته می‌شود، داده‌های چندانی در این مورد وجود ندارد؛ اما بر اساس گزارش‌های Embleton and Jones (1987)، حدود ۷۵ درصد نیتروژن این اندام‌ها پس از تجزیه تصعید می‌شود.

پاسخ عملکردی مرکبات به مصرف نیتروژن در مناطق مختلف جهان متغیر است (Dasberg, 1978). بر اساس گزارش‌های میدانی بلندمدت با پرتقال والنسیا در فلوریدا مصرف نیتروژن بیشتر از ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار تأثیری در افزایش عملکرد نداشت (Reuther et al., 1957). در کالیفرنیا، بیشترین عملکرد از مصرف ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال حاصل شد (اسمیت، ۱۹۷۱). در آفریقای جنوبی هیچ پاسخ عملکردی با مصرف بیشتر از ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال گزارش نشد (Duplessis, 1977). در ژاپن مصرف ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال برای باغ‌های نارنگی ساتسوما توصیه می‌شود (Wallace et al., 1954). گزارش آزمایش‌های طولانی‌مدت میدانی در باغ‌های مرکبات در استرالیا نشان داده است که درختان مرکبات به بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال پاسخ نداده‌اند (Cary and Weerts, 1977). بر اساس گزارش‌های بلندمدت از آزمایش‌های میدانی در باغ‌های مرکبات در ایران، مصرف حداکثر ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برای باغ‌های با عملکرد کم و ۲۰۰ کیلوگرم برای باغ‌های با عملکرد بالا به روش کودآبیاری توصیه می‌شود اما برای

باغ‌های بدون کودآبیاری (سرک خاکی) به ترتیب ۲۰۰ و ۲۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توصیه می‌شود (Asadi Kangarshahi, 2019). به‌طورکلی این داده‌های به‌دست‌آمده از نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که از نظر عملکرد میوه، درختان مرکبات به مصرف زیاد نیتروژن پاسخ نمی‌دهند و مصرف بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال اغلب موجب کاهش کیفیت میوه می‌شود. گزارش‌های محدودی افزایش عملکرد با مصرف حدود ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال نیز وجود دارد که احتمالاً به دلیل مصرف مداوم نیتروژن همراه با آب آبیاری است (Sanchez, et al., 1995).

تراز نیتروژن در باغ‌های مرکبات

گزارش‌های ارائه‌شده برای ایجاد تعادل نیتروژن در باغ مرکبات نشان می‌دهد که حتی در باغ‌های با عملکرد بالا، برداشت کل نیتروژن توسط درختان مرکبات (میوه، برگ، تنه و شاخه‌ها، ریشه‌ها) به‌ندرت بیشتر از ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال است (جدول ۳). برداشت نیتروژن بیشتر (۱۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار) تنها در باغ‌های با عملکرد بسیار بالا (۸۵ تن در هکتار) در مصرف‌های بسیار بالای نیتروژن حاصل شده است. این داده‌ها از این ایده حمایت می‌کنند که مصرف بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال با در نظر گرفتن ۲۰ کیلوگرم نیتروژن ذخیره در هکتار در سال در ساختار اسکلتی درختان غیر ضروری است و موجب افزایش تلفات نیتروژن می‌شود. همچنین داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهد که در مواردی تراز منفی گزارش شده است که نشان می‌دهد مقدار نیتروژن برداشت شده توسط درختان از مصرف سالانه بیشتر است این بدان معنی است که مقداری نیتروژن از خاک با معدنی شدن نیتروژن مواد آلی تأمین شده است و همچنین در مواردی مقدار شستشوی نیتروژن از اختلاف ورودی نیتروژن به باغ توسط مصرف کود و خروجی نیتروژن توسط درختان بیشتر است که موجب ایجاد تراز منفی شده است. از سوی دیگر، تلفات بیش از حد نیتروژن، مانند آنچه در مصرف زیاد نیتروژن رخ داده است ممکن است موجب افزایش تثبیت نیتروژن توسط مواد آلی خاک یا افرایش ورود به اندام‌های ذخیره در اندام‌های مختلف درختان باشد (جدول ۱).

جدول ۱- تراز نیتروژن در باغ‌های مختلف مرکبات

Table 1- Nitrogen balance in different citrus orchards

رقم Variety	منبع Reference	نیتروژن Nitrogen				
		مقدار مصرف (کیلوگرم در هکتار) Input (kg ha $^{-1}$)	جذب‌شده (کیلوگرم در هکتار) Removal (kg ha $^{-1}$)	اختلاف بین مقدار مصرف و جذب‌شده (زیادی) Excess	شستشو شده از پروفیل خاک Leached	تراز Balance
پرتقال والنسیا Valencia orange	بینگهام و همکاران (۱۹۷۱) *Bingham* et al.*(1971)*	۱۵۶	۶۰	۱۰۶	۶۷	۳۹
پرتقال واشنگتن ناول Washington navel oranges	امبلتون و جونز (۱۹۷۸) Embleton and Jones (1978)	۱۲۴	۵۲	۷۲	۱۸	۵۴
		۳۶۸	۶۱	۳۰۷	۵۸	۲۴۹
لیموی لیسبون Lisbon Lemon	امبلتون و همکاران (۱۹۸۱) *Embleton* et al. *(1981)*	۵۷	۷۳	−۱۶	۳۱	−۴۷
		۱۶۵	۸۶	۷۹	۱۰۹	−۳۰
		۴۸۶	۱۰۱	۳۸۵	۲۳۹	۱۴۶
پرتقال شموتی Shamouti orange	دسبرگ (۱۹۷۸) Dasberg (1978)	۵۰	۵۱	−۱	۴۸	−۴۹
		۲۵۰	۵۳	۱۹۷	۸۰	۱۱۷
پرتقال شموتی Shamouti orange	دسبرگ و همکاران (۱۹۸۳ و ۱۹۸۴) Dasberg et al. (1984 & 1983)	۱۰۸	۷۴	۳۴	۲۱	۱۳
		۱۷۰	۱۲۸	۴۲	۱۵	۲۷
		۳۰۸	۱۴۶	۱۶۲	۶۱	۱۰۱

ذخیره‌سازی و انتقال مجدد نیتروژن

به‌طورکلی مقدار ذخیره نیتروژن در اسکلت ساختاری درختان از ۱۰۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر است. این‌که چه مقداری از این نیتروژن قابلیت انتقال مجدد را دارد و چه مقدار می‌تواند در متابولیسم درختان مشارکت فعال داشته باشد یا پس از جابجایی، بیشتر به کدام اندام‌ها منتقل می‌شود، از نظر مدیریت مصرف نیتروژن اهمیت بسیار زیادی دارد (Dasberg, 1978). استفاده از نیتروژن نشان‌دار (^{15}N) برای ردیابی جذب و انتقال مجدد نیتروژن در درختان مرکبات نشان داد که برگ‌های مسن درختان پرتقال قبل از ریزش دارای نیتروژن بسیار کمتری از برگ‌های جوان هستند و نشان داد که بیش از ۵۰ درصد نیتروژن برگ‌ها قبل از ریزش، به سایر اندام‌های درختان منتقل می‌شود (Wallace et al., 1954). البته مطالعات بعدی این برآورد را زیاد گزارش کردند (Embleton et al., 1973). استفاده از نیتروژن نشان‌دار (^{15}N) با درختان جوان مرکبات جوان نشان داد تنها ۱۵ درصد از نیتروژن برگ‌های جوان در اوایل فصل از خاک جذب می‌شود و در مقابل بخش عمده‌ای از این نیاز نیتروژنی سرشاخه‌های جوان از ذخیره نیتروژن درختان تأمین می‌شود (Wallace et al., 1954). این پدیده در درختان خزان کننده به‌خوبی شناخته شده است، به‌طوری‌که نیتروژن ذخیره‌شده در پارانشیم پوست و سلول‌های شعاعی آوندهای چوبی بیشترین تأثیر در رشد و توسعه گل‌ها و سرشاخه‌ها در اوایل فصل را دارند. اهمیت این نیتروژن ذخیره در درختان مرکبات کمتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های تغذیه گیاهان چوبی، ذخیره مقدار زیادی از ترکیبات نیتروژن دار در اندام‌های خاص و متحرک شدن مجدد آن‌ها بر اساس یک ریتم ثابت سالانه است. معمولاً نیتروژن در طول پاییز و زمستان در این درختان ذخیره می‌شود و در رشد جدید در اوایل بهار مورد استفاده قرار می‌گیرد. در درختان مرکبات، برگ‌ها منبع اصلی نیتروژن در طول فصل بهار و تابستان هستند و حدود دو سوم از نیتروژن خارج شده از برگ‌ها، از پروتئین‌ها و بقیه از نیتروژن محلول، احتمالاً از اسیدهای آمینه می‌آید، بنابراین هیدرولیز پروتئین در برگ‌ها، منبع عمده نیتروژن برای اندام‌های جدید را در طول کل رشد بهار و تابستان تضمین می‌کند. همچنین اسیدهای آمینه برگ‌های مسن به‌ویژه پرولین، نیز نقش مهمی به‌عنوان ذخیره نیتروژن در مراحل اولیه رشد سرشاخه‌های بهاره ایفا می‌کند (Moreno and Garcia-Martinez, 1984).

پژوهش‌های انجام‌شده در مورد زمان مصرف نیتروژن در درختان نارنگی انشو نشان داده است که بیشترین بازیابی کود نیتروژن از کوددهی تابستانه و کمترین آن از کوددهی پاییزی یا کوددهی اوایل فصل در بهار است. در کوددهی پاییزی یا اوایل فصل، نه تنها نیتروژن کمتری توسط درخت جذب می‌شود، بلکه مقدار کمتری از نیتروژن جذب‌شده توسط ریشه به سرشاخه‌ها، برگ‌ها و میوه‌ها منتقل می‌شود. این پژوهش همچنین نشان داد که کود نیتروژن عمدتاً توسط اندام‌های جدید جذب می‌شود، اما تبادل زیادی بین نیتروژن اندام‌های جوان و نیتروژن ذخیره در درختان مرکبات وجود دارد (Iwakiri and Nakahara, 1981). Legaz و همکاران (۱۹۸۲) از درختان کالاموندین با بستر ماسه به‌عنوان مدلی برای مطالعات جذب و انتقال نیتروژن با نیتروژن نشان‌دار استفاده کردند و گزارش کردند که کود نیتروژن مصرفی در گلدهی ترجیحاً به اندام‌های جدید منتقل می‌شود، اما همچنین در اندام‌های ذخیره نیز جذب می‌شود. بخش عمده‌ای از نیتروژن میوه‌های درحال‌توسعه از اندام‌های ذخیره تأمین می‌شود. در طول گلدهی، درختان روزانه ۳۰ میلی‌گرم نیتروژن به ازای هر کیلوگرم ماده خشک جذب می‌کنند در طول مرحله تشکیل میوه، میزان جذب نیتروژن به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد (Legaz et al., 1982). همچنین مطالعات جذب و انتقال نیتروژن با نیتروژن نشان‌دار با درختان چهار ساله والنسیا در مراحل مختلف چرخه رشد نشان داد که کمترین جذب نیتروژن از خاک در طول دوره استراحت زمستانی است، در مرحله گلدهی جذب نیتروژن از خاک شروع به افزایش کرد و در مرحله تشکیل میوه به بیشترین مقدار رسید. در طول دوره استراحت

زمستانی، بخش اعظم نیتروژن جذب‌شده از خاک در ریشه‌ها تجمع می‌یابد، درحالی‌که در مرحله گلدهی و تشکیل میوه، بیشتر نیتروژن جذب‌شده از خاک به برگ‌ها و میوه‌ها وارد می‌شود (Legaz et al., 1981). جذب و انتقال نیتروژن با مصرف نیتروژن نشاندار در پاییز برای درختان جوان مرکبات با وزن خشک کمتر از یک کیلوگرم نشان داد که بیش از ۵۰ درصد از نیتروژن جذب‌شده در اندام‌های قدیمی (ریشه، ساقه و برگ‌های مسن) در طول گلدهی به رشد جدید منتقل می‌شود و این نسبت به‌تدریج افزایش یافت تا اینکه در مرحله رشد سر شاخه‌های پاییزی تقریباً به ۹۰ درصد رسید، ریشه‌ها و برگ‌های مسن بیشترین بخش ذخیره نیتروژن را در این درختان داشتند؛ اما مصرف مجدد نیتروژن پس از مصرف نیتروژن نشاندار موجب شد اهمیت اندام‌های ذخیره در تأمین نیتروژن برای اندام‌های جوان در حال رشد به‌تدریج از ۷۰ درصد در مرحله گلدهی به ۳۰ درصد در مرحله رشد سرشاخه‌های پاییزی کاهش یافت. در درختان با کمبود نیتروژن، در همه مراحل رشد به‌شدت به نیتروژن ذخیره وابسته هستند (بیش از ۸۰ درصد)؛ بنابراین تغییرات فصلی در جذب نیتروژن و توزیع آن در بین اندام‌های درخت به‌وضوح مشاهده می‌شود و این نیتروژن ذخیره در بافت‌های مسن‌تر برای رشد مناسب برگ‌ها و گل‌های جدید در بهار از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Legaz et al., 1981).

بررسی سرنوشت جذب و توزیع نیتروژن در درختان بالغ مرکبات در طول فصل رشد با مصرف کم (۳۴۰ گرم نیتروژن) و مصرف زیاد نیتروژن (۱۰۰۰ گرم نیتروژن) نشاندار به ازای هر درخت نشان داد که گرچه همه درختان وزن خشک کل یکسانی داشتند، اما درختان با مصرف کم نیتروژن، سیستم ریشه بزرگ‌تر و میوه و برگ کمتری داشتند و مقدار کل نیتروژن در درختان با مصرف کم نیتروژن به‌ویژه در میوه‌ها و شاخه‌ها کمتر بود (جدول‌های ۲ و ۳). بازیابی کل نیتروژن برای دو مورد مشابه بود، اما در درختان با مصرف کم نیتروژن، باقیمانده کود نیتروژن در خاک فقط پنج درصد بود در حالی در درختان مصرف زیاد نیتروژن این باقیمانده حدود ۱۶ درصد بود بازیابی بیشتر کود نیتروژن در درختان با مصرف کم نیتروژن به‌ویژه در برگ‌ها، ریشه‌ها و شاخه‌ها ظاهر شده بود. جالب بود که حتی در درختان با مصرف زیاد کود نیتروژن، ۲۳ درصد از نیتروژن میوه و ۲۱ درصد نیتروژن به‌طور مستقیم از کود تأمین شده بود و حدود ۸۰ درصد نیتروژن مورد نیاز بافت‌های جوان در حال رشد از نیتروژن ذخیره درختان تأمین می‌شد. اندام‌های دائمی درختان در درختان با مصرف کم نیتروژن، درصد بیشتری از نیتروژن مورد نیاز برگ‌ها و میوه‌های در حال رشد را (حدود ۸۴ درصد) تأمین کردند. این درختان همچنین راندمان جذب ظاهری نیتروژن بسیار کمتری را در ریشه‌ها و شاخه‌ها نشان دادند که می‌توان آن را به‌عنوان تخلیه نیتروژن از این اندام‌ها به نفع میوه‌ها، شاخه‌ها و برگ‌های در حال رشد توضیح داد (Martinez et al., 2012; Feigenbaum et al., 1986). این داده‌ها با نتایج به دست آمده با درختان جوان مرکبان با بستر شن و ماسه مطابقت دارد (Iwakiri and Nakahara, 1981; Legaz et al., 1981, 1982; Wallace et al., 1954). نتایج گزارش‌های Legaz و همکاران (۱۹۸۲) نشان داد که نیتروژن مورد نیاز برگ‌های جدید، سرشاخه‌های جدید، گل‌ها و میوه‌چه‌های جوان عمدتاً از نیتروژن ذخیره‌شده در برگ‌های مسن، سرشاخه‌های سال گذشته، ساقه و بازوها، ریشه‌ها تأمین می‌شود و کمتر از سه درصد نیتروژن مورد نیازشان از کوددهی سال جاری تأمین می‌شود.

یکی از اولین علائم پیری برگ‌های درختان، کاهش پروتئین برگ است که با کاهش طول روز در پاییز شروع می‌شود با توجه به اینکه برگ‌ها معمولاً توانایی سنتز پروتئین‌شان را حفظ می‌کنند بنابراین کاهش در میزان پروتئین نتیجه عدم تعادل بین سنتز و شکستن یا تجزیه پروتئین است و اسیدهای آمینه ناشی از هیدرولیز پروتئین‌ها به محل‌های سینک نیتروژن در گیاهان منتقل می‌شوند(Feller, 1990). به‌طورکلی با کاهش طول روز در پاییز فعالیت آنزیم‌های RNase، پلی‌فنول‌اکسیداز و مالات دهیدروژناز به‌طور نمایی افزایش می‌یابد درحالی‌که

کلروفیل، DNA و RNA در برگ شروع به کاهش می‌کند با کاهش کلروفیل، فتوسنتز سریعاً کاهش می‌یابد اما این دو فرآیند کاملاً به هم متصل نیستند (Thimann, 1980). بیشتر آنزیم‌ها، فعالیت‌شان با پیر شدن کاهش می‌یابد اما فعالیت برخی از آن‌ها ثابت می‌ماند یا حتی ممکن است در اواخر دوره رشد برگ افزایش یابد. برای مثال، گلوتامین سنتاز و آلانین آمینوترانس‌فراز فعالیت‌شان تا مراحل آخر پیری برگ ثابت باقی می‌ماند. این آنزیم‌ها ممکن است در تشکیل و انتقال ترکیبات ناشی از تجزیه پروتئین‌ها و کلروفیل نقش داشته باشد. آمینواسیدهای آزاد شده مجدداً به آسپاراژین یا گلوتامین تبدیل‌شده و بخشی هم به آمونیم تبدیل می‌شوند (Thimann, 1980; Turkals et al., 2013). اگر برگ به درختان متصل باشد این آمینو اسیدها می‌تواند به بافت‌های چوبی و پوست (جایی که برای استفاده آینده ذخیره می‌شوند) انتقال یابد. گزارش‌های مختلف نشان داده است که ذخیره نیتروژن کافی در درختان موجب افزایش و تشکیل میوه و همچنین نگهداری میوه-چه‌ها می‌شود. درختان با ذخیره نیتروژن کافی دارای غلظت بیشتری از آمینواسیدها و دیگر ترکیبات نیتروژنی هستند و این آمینواسیدها به‌عنوان بلوک‌های ساختمانی برای سنتز DNA و RNA، پروتئین‌ها و برخی از عوامل کاهنده ریزش عمل می‌کنند. همچنین درختان با ذخیره نیتروژن کافی دارای اکسین و سیتوکنین بیشتری هستند که در کاهش ریزش میوه‌چه‌ها نقش مؤثری دارند (Dong et al., 2002; Asadi Kangarshahi, 2019; Carranca et al., 2018).

جدول ۲- وزن خشک کل و توزیع آن در اندام‌های مختلف درختان بالغ مرکبات

Table 2- Dry matter and its distribution in different organs of mature citrus trees

رقم Variety	سن درختان Age trees	وزن خشک (درخت/کیلوگرم) Dry matter (kg/tree)	توزیع وزن خشک (درصد) Dry matter distribution (%)			
			میوه Fruits	برگ Leaves	تنه و شاخه‌ها Trunk & branches	ریشه‌ها Roots
پرتقال والنسیا Valencia orange	۱۰	۸۰	۱۶	۱۹	۴۹	۱۶
پرتقال شموتی Shamouti orange	۲۰	۳۲۰	۱۳	۸	۵۵	۲۴
گریپ فروت Grapefruit	۱۹	۲۷۳	۳	۶	۵۷	۳۴
نارنگی انشو Satsuma mandarin	۳۰	۴۹۸	۱۸	۸	۵۳	۲۱
پرتقال تامسون Thomson navel orange	۲۱	۲۵۶	۱۲	۷	۴۹	۳۲

جدول ۳- مقدار نیتروژن کل و توزیع آن در اندام‌های مختلف درختان بالغ مرکبات

Table 3- Total nitrogen content and its distribution in different organs of mature citrus trees

رقم Variety	نیتروژن کل (درخت/گرم) Nitrogen (g/tree)	توزیع نیتروژن (درصد) Nitrogen distribution (%)			
		میوه Fruits	برگ Leaves	تنه و شاخه‌ها Trunk & branches	ریشه‌ها Roots
پرتقال والنسیا Valencia orange	۷۳۴	۲۱	۴۱	۲۸	۱۰
پرتقال شموتی Shamouti orange	۲۳۷۹	۲۰	۲۲	۴۲	۱۵
گریپ فروت Grapefruit	۲۰۶۱	۶	۱۸	۳۳	۴۳
نارنگی انشو Satsuma mandarin	۳۵۹۷	۲۷	۲۳	۲۸	۲۲
پرتقال تامسون Thomson navel orange	۱۸۴۵	۱۸	۲۷	۲۶	۲۹

تصویر جامع‌تری از منابع فراهمی نیتروژن و تعادل آن‌ها در باغ مرکبات بر اساس داده‌های آزمایشی اخیر در جدول ۴ نشان داده‌شده است (Dasberg et al., 1983, 1984; Feigenbaum et al., 1986). ماده آلی خاک، بزرگ‌ترین منبع فراهمی نیتروژن (بیش از دو تن نیتروژن در هکتار) است. نیتروژن معدنی به شکل نیترات (NO_3) مستقیماً توسط ریشه قابل جذب است، فقط حدود چهار تا پنج درصد از این منبع بزرگ نیتروژن را تشکیل می‌دهد.

نیتروژن مصرفی به‌صورت کود در دو تیمار آزمایشی حدود ۱۴۰ و ۴۱۶ کیلوگرم در هکتار بود در حالی میزان توصیه شده حدود ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار در سال است. مقدار نیتروژن جذب شده توسط درختان از کود مصرفی در آن سال به ترتیب معادل ۸۰ و ۱۶۶ کیلوگرم در هکتار است و راندمان جذب به ترتیب حدود ۵۷ و ۴۰ درصد بود. این مقادیر نیتروژن تنها بخش کوچکی از مقدار کل نیتروژن موجود در درختان بالغ است و مقدار کل نیتروژن در درختان بالغ حدود چهار تا پنج برابر بیشتر از میانگین مصرف کود سالانه است. همچنین مقدار نیتروژنی که از مصرف کود به اندام‌های سالانه درختان وارد می‌شود در مقایسه با نیتروژن مصرف شده بسیار کم است. همه این‌ها اهمیت دو منبع اصلی نیتروژن (ماده آلی خاک و اسکلت درختان) را نشان می‌دهد. با مقایسه درختان آزمایشی با نیتروژن کم و زیاد می‌توان دریافت که چگونه از این منابع نیتروژن برای حفظ رشد و پایداری تولید در باغ‌های با مصرف کم نیتروژن استفاده کرد. علی‌رغم این واقعیت که راندمان جذب نیتروژن در درختان با مصرف نیتروژن کمتر، نسبتاً بیشتر و نیترات موجود در خاک نیز کمتر است و شستشوی نیتروژن اگرچه با سرعت کمتر، ولی ادامه دارد.

جدول ۴- ذخیره و تعادل نیتروژن در باغ‌های مرکبات

Table 4- Nitrogen pools and balance in citrus orchards

تیمارها treatments	نیتروژن مصرفی (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen inputs (kg/ha)	
	کم Low	زیاد High
نیتروژن در مواد آلی خاک (کیلوگرم در هکتار) Soil organic Nitrogen (kg/ha)	۲۰۸۰	۲۱۴۰
نیتروژن نیتراتی خاک (کیلوگرم در هکتار) Soil N03- Nitrogen (kg/ha)	۸۵	۱۱۳
نیتروژن کل درختان (کیلوگرم در هکتار) Total N in trees (kg/ha)	۸۶۱	۹۹۰
نیتروژن مصرفی به‌صورت کود (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen applied as fertilizer (kg/ha)	۱۴۰	۴۱۶
نیتروژن درختان تأمین‌شده از کوددهی فصل جاری (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen in trees derived from season's fertilizer (kg/ha)	۸۰	۱۶۶
نیتروژن میوه تأمین‌شده از کوددهی فصل جاری (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen in fruits derived from season's fertilizer (kg/ha)	۱۵	۲۲
نیتروژن برگ‌ها تأمین‌شده از کوددهی فصل جاری (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen in leaves derived from season's fertilizer (kg/ha)	۲۷	۴۷
نیتروژن شسته شده (نیترات) به زیر منطقه ریشه (کیلوگرم در هکتار) Nitrogen leached as NO) below root zone (kg/ha)	۳۷	۶۴
راندمان جذب (درصد) Uptake efficiency (%)	۵۷	۴۰

کوددهی خاکی نیتروژن

به‌طورکلی برخی پژوهش‌ها در مورد درختان میوه در مناطق معتدله نشان داده است که نیتروژن مصرفی در اوایل بهار، بیشتر به رشد رویشی سرشاخه‌ها اختصاص پیدا می‌کند درحالی‌که نیتروژن مصرفی در آخر فصل، بیشتر به اندام‌های ذخیره مانند پوست ریشه‌ها و تنه درختان می‌رود

و مقدار کمی هم به جوانه‌های درحال‌توسعه منتقل می‌شود و محلول‌پاشی پس از برداشت یکی از راهکارهای عملی برای افزایش نیتروژن ذخیره جوانه‌ها در اواخر فصل رشد است (Carranca et al., 2018; Zubair et al., 2017; Sanchez et al., 2006). گزارش‌های Sanchez (۱۹۹۰) نشان می‌دهد که عدم رعایت زمان و نیاز واقعی مصرف نیتروژن در تولید محصول در کالیفرنیا، موجب می‌شود که سالانه چندین هزار تن نیتروژن از این اراضی شسته و به آب‌های زیرزمینی منتقل شود. درختان مرکبات در زمان گل‌دهی بیشترین نیاز به نیتروژن را دارند، درحالی‌که راندمان مصرف خاکی نیتروژن در این زمان، حداقل است؛ بنابراین، نیتروژن ذخیره‌شده در برخی اندام‌ها است که نیاز نیتروژن جوانه‌های گل و تشکیل میوه را تأمین می‌کند. امّا به‌تدریج با افزایش فعالیت درختان و رشد فلش‌های بهاره، راندمان مصرف نیتروژن افزایش می‌یابد و در زمان توسعه فلش‌های تابستانه به حداکثر و سپس به‌تدریج مجدداً شروع به کاهش می‌کند. در فاز اول رشد میوه‌ها که به‌تدریج راندمان مصرف افزایش می‌یابد، مدیریت مصرف نیتروژن باید به‌گونه‌ای باشد که بین رشد فلش‌های بهاره و رشد میوه‌چه‌ها تعادل برقرار باشد و مصرف زیاد نیتروژن معمولاً موجب تشدید رشد فلش‌های بهاره و افزایش ریزش میوه‌چه‌ها خواهد شد؛ بنابراین توصیه می‌شود مصرف نیتروژن در باغ‌های مرکبات با حداقل مقدار در آغاز رشد فلش‌های بهاره شروع و به‌تدریج با توسعه‌ی میوه‌ها و سرشاخه‌های سال جاری افزایش یابد، به‌طوری‌که در اوایل فاز دوم رشد میوه به حداکثر مقدار برسد و سپس به‌تدریج کاهش و در زمان بلوغ میوه متوقف شود. پس از برداشت میوه، مجدداً مصرف نیتروژن جهت تکمیل فلش‌های پاییزه، افزایش نیتروژن ذخیره بافت‌های مختلف، کاهش تناوب باردهی و بهبود توانایی درختان در مقابل تنش‌های مختلف توصیه می‌شود (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014).

به‌طورکلی در درختان میوه از جمله مرکبات از نظر زمانی، اختلاف‌فازی بین شروع رشد فلش‌های اندام هوایی و شروع رشد ریشه (از ۲۰ تا ۳۰ روز) وجود دارد. از طرف دیگر، کودهای نیتروژنی (حتی کودهای آمونیمی)، پایداری کمی در خاک دارند و به‌طور میانگین حدود ۲۰ تا ۳۰ روز پایدار هستند. همچنین راندمان مصرف کودهای نیتروژنی در اسفندماه (کود پایه) برای درختان مرکبات، حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد است (جدول ۵). از طرفی برگ‌های قدیمی درختان مرکبات در این دوره زمانی، دارای سینک بسیار قویی هستند و بخش عمده‌ی این مقدار کم نیتروژن جذب‌شده نیز به مصرف برگ‌های قدیمی می‌رسد. از این‌رو، مصرف کودهای نیتروژنی قبل از گل‌دهی در اواخر اسفندماه یا اوایل فروردین ماه (به اصطلاح کود پایه) نقش چندانی در کیفیت گل‌ها و بهبود تشکیل میوه ندارند و کیفیت گل‌ها و تشکیل میوه بیشتر تحت تأثیر نیتروژن ذخیره (تغذیه درازمدت درختان به‌ویژه تغذیه سال قبل) درختان است (Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014; Asadi Kangarshahi et al., 2011; Kato et al., 1981).

نتایج پژوهش‌های متعدد نشان داده است که کمبود نیتروژن در درختان مرکبات موجب افزایش قابلیت استفاده هگزوزفسفات، برخی از آنزیم‌های مؤثر در سنتز نشاسته مانند ADP – گلوکزپیروفسفوریلاز و تجمع دانه‌های نشاسته می‌شود. تجمع زیاد دانه‌های بزرگ نشاسته در ساختمان کلروپلاست اختلال ایجاد کرده و میزان کلروفیل و فتوسنتز را کاهش می‌دهد (Bondada et al., 2001; Groot et al., 2003). نتایج پژوهش‌های Tadayon و Hosseini (۲۰۲۰) نشان داد که مدیریت مصرف نیتروژن، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش تناوب باردهی مرکبات دارد. نتایج تیمارهای مدیریت مصرف نیتروژن و زمان برداشت بر تناوب باردهی نارنگی سیاهو نشان داد که به‌کارگیری تیمارها به‌تدریج نوسان عملکرد و تناوب باردهی را کاهش داد و محلول‌پاشی نیتروژن در آبان ماه بیشترین تأثیر در کاهش تناوب باردهی داشت. به‌طورکلی نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش‌های دیگر همخوانی دارد که گزارش کردند مصرف نیتروژن در اواخر فصل رشد (پس از برداشت) بیشترین تأثیر در تعدیل تناوب

باردهی، ذخیره نیتروژن، تأمین نیاز نیتروژنی جوانه‌های گل، فلش‌های رشد و میوه‌چه‌های جوان در سال بعدی دارد به‌طوری‌که بخش عمده‌ای از این نیتروژن در شاخه‌های جوان، جوانه‌ها و ریشه‌های فیبری ذخیره‌شده و در بهار سال بعد، نیاز فلش‌های اوایل فصل، جوانه‌های گل و رشد اولیه میوه‌چه‌ها را تأمین می‌کند (Hosseiniand Rezazadeh, 2014; Akhlaghi Amiri, and Asadi Kangarshahi. 2015; Asadi Kangarshahi and Akhlaghi Amiri, 2014; Lovatt et al., 1992; Mozhar et al., 2007).

جدول ۵- راندمان جذب کود نیتروژن در مراحل مختلف رشد مرکبات و توزیع آن در اندام‌های مختلف

Table 5- Uptake efficiency of nitrogen fertilizer in different stages of citrus growth and its distribution in different organs

زمان مصرف نیتروژن Nitrogen application time	جذب نیتروژن توسط اندام‌های مختلف مرکبات (٪) Nitrogen uptake in different citrus organs (%)				راندمان جذب (٪) Uptake efficiency (%)
	اندام هوایی canopy			ریشه Root	
	برگ‌ها Leaves	میوه‌ها Fruits	شاخه‌ها Branches	ریشه‌ها Roots	
کود پایه (قبل از گل‌دهی) Basic fertilizer (before flowering)	۴۷	۶/۵	۱۶/۵	۳۰	۲۰
فاز اول رشد میوه first stage of the fruit growth	۳۷	۴۴	۱۰/۵	۸/۵	۶۵
فاز دوم رشد میوه second stage of the fruit growth	۳۷	۳۰	۱۵	۱۸	۸۴
آخر فصل رشد (رسیدن میوه) The end of the growth (fruit ripening)	۳۷/۸	۲/۱	۲۸/۴	۳۱/۷	۴۲

نتایج این پژوهش نشان داد که مصرف بخش عمده نیتروژن در اوایل فصل (قبل از شروع توسعه برگ‌ها)، تناوب باردهی را تشدید می‌کند. این نتایج با پژوهش‌های مختلف دیگر همخوانی دارد که گزارش کردند مصرف بخش عمده نیتروژن قبل از شروع رشد و در اوایل فصل رشد، به دلیل راندمان جذب پایین تأثیر چندانی در تأمین نیتروژن درختان ندارد در مقابل مصرف آن در طی فصل رشد به‌ویژه مصرف تابستانی و پاییزی آن از راندمان جذب بیشتری است و علاوه بر تأمین نیاز میوه‌های سال جاری در رشد و تشکیل چوب‌های میوه‌ده برای سال بعد و همچنین تأمین نیتروژن ذخیره جوانه‌های در سال آتی، افزایش تشکیل میوه و عملکرد تأثیر زیادی دارد (Lovatt et al., 1988, 1992; Legaz, et al., 1995; Goldschmidth, Asadi Kangarshahi .(2005; Turkals et al., 2013 و همکاران (۲۰۱۸) گزارش کردند که مصرف کودها قبل از گلدهی از راندمان جذب کمی برخوردار هستند و مصرف آن‌ها متناسب با فنولوژی رشد در مناطق مختلف توصیه می‌کنند.

به‌طورکلی نتایج پژوهش‌های بلندمدت در مورد مدیریت مصرف نیتروژن متناسب با فنولوژی رشد در درختان مرکبات نشان داد که کوددهی اوایل فصل رشد قبل از رشد سرشاخه‌ها، تأثیر چندانی در افزایش تشکیل گل، میوه و رشد فلش‌های بهاره ندارد. لذا توصیه می‌شود که باغداران، کوددهی اوایل فصل را با حداکثر ۱۰ الی ۱۵ درصد نیاز سالانه درختان شروع نمایند و به‌تدریج، مقدار مصرف (درصدی از نیاز سالانه) را افزایش داده و در اوایل یا اواسط تابستان (با توجه به رقم) به حداکثر مقدار مصرف ارتقا داده شود سپس مصرف کودها به‌تدریج کاهش یابد و در اوایل پاییز (پایان رشد فلش‌های پاییزی) متوقف شود. لذا به‌منظور افزایش راندمان مصرف کودهای شیمیایی، افزایش تشکیل میوه، افزایش عملکرد و باردهی منظم باغ‌های منطقه، توصیه می‌شود از کوددهی اواخر فصل زمستان یا اوایل فصل رشد اجتناب یا به حداقل مقدار تقلیل دهند و در مقابل کوددهی بر اساس تقاضای تغذیه‌ای درختان مرکبات در طول سال انجام شود. به‌طورکلی بیشترین عملکرد از مدیریت زمانی مصرف کودهای

نیتروژنی (۱۵ درصد در قبل از گلدهی (اوایل اردیبهشت‌ماه)؛ ۳۵ درصد بین تشکیل میوه‌چه‌ها و شروع ریزش تابستانی میوه‌چه‌ها (از اواخر اردیبهشت تا اواسط خردادماه)؛ ۲۰ درصد در شروع ریزش تابستانی تا اوایل فاز دوم رشد میوه‌ها (اواخر خرداد تا اواسط تیرماه)؛ ۱۵ درصد در فاز دوم رشد میوه (اواخر تیر تا اواسط مردادماه و ۱۵ درصد پس از برداشت میوه (مهرماه) حاصل شد. اما بر اساس داده‌های این آزمایش، برنامه زمانی مصرف کودهای نیتروژنی برای حداقل تناوب باردهی در چهار مرحله: مرحله اول، ۱۵ درصد در قبل از گلدهی (اوایل اردیبهشت‌ماه)؛ مرحله دوم، ۳۰ درصد بین تشکیل میوه‌چه‌ها و شروع ریزش تابستانی میوه‌چه‌ها (از اواخر اردیبهشت تا اواسط خردادماه)؛ ۳۰ درصد در شروع ریزش تابستانی تا اوایل فاز دوم رشد میوه‌ها (اواخر خرداد تا اواسط تیرماه)؛ و ۲۵ درصد پس از برداشت میوه (مهرماه) توصیه می‌شود (Asadi Kangarshahi, 2019).

کودآبیاری نیتروژن

در باغ‌های مرکبات، روش آبیاری به‌طور مستقیم در جذب نیتروژن تأثیر دارد. Quiñones و همکاران (۲۰۰۵) گزارش کردند که راندمان جذب نیتروژن در درختان پرتقال ناولینا در سامانه آبیاری قطره‌ای حدود ۷۳ درصد و در سامانه آبیاری غرقابی حدود ۶۳ درصد است. پژوهش‌های Syvertsen و Smith (۱۹۹۶) برای درختان مرکبات تحت شرایط لایسیمتری نشان داد که راندمان مصرف نیتروژن حدود ۶۱ تا ۶۸ درصد است. نتایج مشابه‌ای از راندمان مصرف نیتروژن در روش کودآبیاری در مقایسه با روش پخش سطحی با کودهای گرانوله خشک توسط پژوهشگران Dasberg و همکاران (۱۹۸۸)، Alva و Paramasivam (۱۹۹۸)، Alva و همکاران (۱۹۹۸)، Alva و همکاران (۲۰۰۳) و Quaggio و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش شده است. البته استراتژی آبیاری در آبیاری قطره‌ای در توزیع نیتروژن در پروفیل خاک تأثیر دارد برای یک حجم معین آب مصرفی، افزایش میزان مصرف آب در واحد زمان (دبی بیشتر) موجب توزیع بیشتر آب در جهت افقی می‌شود و در مقابل کاهش مصرف آب (دبی کمتر) سبب حرکت بیشتر آب در جهت عمودی خواهد شد بنابراین شستشوی نیترات را افزایش خواهد داد (Li et al., 2004). در همین راستا، Quiñones و همکاران (۲۰۰۷) گزارش کردند درصد نیتروژن نیتراتی نگهداری شده در پروفیل خاک در روش آبیاری غرقابی (۳۸ درصد) بیشتر از روش آبیاری قطره‌ای (هشت درصد) است اما اختلاف معنی‌داری در مقدار نیتروژن آلی خاک در دو روش وجود نداشت.

فراوانی مصرف نیتروژن نیز بر توزیع نیتروژن در پروفیل خاک و در ساختار درختان تأثیر دارد. مصرف محلول‌های رقیق نیتروژن با فراوانی بیشتر می‌تواند راندمان مصرف نیتروژن را نسبت به محلول‌های غلیظ با فراوانی کمتر تا حدود دو برابر افزایش دهد (Scholberg et al., 2002; Quiñones et al., 2005). در مطالعه دیگری، Alva و همکاران (۲۰۰۶) افزایش کمی در راندمان جذب نیتروژن در نتیجه عملیات مدیریت بهینه (جایگذاری مناسب، زمان مصرف مناسب همراه با برنامه آبیاری بهینه) در روش کودآبیاری (۱۵ مرحله کوددهی) در مقایسه با مصرف کودهای گرانوله محلول در آب (چهار مرحله کوددهی) را گزارش کردند. همچنین افزایش در راندمان مصرف نیتروژن موجب افزایش عملکرد میوه می‌شود. Bowman (۱۹۹۶) راندمان مصرف نیتروژن بیشتر (نه درصد عملکرد میوه بیشتر) در درختان گریپ فروت که ترکیبی از یک سرک پخش سطحی با کودهای گراوله خشک (۳۳ درصد مصرف سالانه) و ۱۸ مرحله کودآبیاری دو هفته در میان در مقایسه با درختانی که سه مرحله کوددهی سرک با کودهای گرانوله دریافت کردند را گزارش کردند. گزارش‌های Morgan و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که عملکرد درختانی که نیاز کودی آن‌ها از کودهای کندرها و ۳۰ درصد کودآبیاری نیتروژن تأمین شد در مقایسه با درختانی که کوددهی آن‌ها با کودهای گرانوله خشک و چهار مرحله کودآبیاری نیتروژن انجام شد، بیشتر بود.

به‌طورکلی در درختان مرکبات راندمان جذب کودهای نیتروژن نیتراتی در مقایسه با کودهای آمونیمی بیشتر است. افزودن بازدارنده‌های نیترات سازی به کودهای نیتروژنی آمونیمی، راندمان مصرف این کودها را ۱۶ درصد افزایش داد و در مقابل مقدار نیترات را در پروفیل خاک حدود ۱۰ درصد و در آب زهکشی را ۳۶ درصد کاهش داد (Shirgure and Srivastava, 2013).

محلول‌پاشی نیتروژن

اوره به علت غیر قطبی بودن، جذب سریع، سمیت پایین و حلالیت زیاد، مناسب‌ترین شکل نیتروژن برای محلول‌پاشی نیتروژن است زیرا نفوذ کوتیکولی اوره حدود ۱۰ تا ۲۰ برابر نفوذ کوتیکولی سایر یون‌های غیرآلی نیتروژن است (Johnson et al., 2001). به‌طورکلی دوره گلدهی و تشکیل میوه از حیاتی‌ترین مراحل توسعه درختان میوه است و در این مرحله بیشترین تقاضا برای نیتروژن وجود دارد درحالی‌که در این زمان، فعالیت متابولیک ریشه، حلالیت عناصر غذایی، جذب و انتقال آن‌ها در گیاه بسیار کم است. مطالعات با اوره نشاندار شده نشان داد که اوره جذب شده در برگ‌ها به‌صورت اسیدهای آمینه یا اوره منتقل می‌شود متابولیسم اوره شامل هیدرولیز اوره و تبدیل آمونیم به اسیدهای آمینه است برخی اسیدهای آمیته ممکن است به‌طور مستقیم انتقال پیدا کنند همچنین ترانس آمینه شدن (transamination)، سنتز پروتئین‌ها و شکسته شدن واقعی پروتئین‌ها و انتقال اسیدهای آمینه حاصل از آن‌ها نیز می‌تواند رخ دهد (تایتوس و کانگ، ۱۹۸۲). این نتایج با برخی پژوهش‌های دیگر مطابقت دارد که گزارش کردند محلول‌پاشی پاییزی اوره موجب افزایش نیتروژن جوانه‌های گل و تشکیل میوه در درختان میوه خزان‌دار می‌شود (Rosecrance et al., 1998; Cheng et al., 2002). اوره‌آز (E.C.3.1.5. Urea amidohydrolase) که اوره را به آمونیم و دی‌اکسید کربن هیدرولیز می‌کند در بافت‌های گیاهی از جمله در برگ‌های هلو، زردآلو، گیلاس وجود دارد. به‌طورکلی نیتروژن ذخیره دوام و زنده‌مانی تخمدان‌ها را افزایش می‌دهد بنابراین در توسعه و کارایی دوره گرده‌افشانی تأثیر مثبت دارد و بیشترین تأثیر در گل‌دهی، توسعه گل‌ها و تشکیل میوه را دارد(Tukey,1985). نتایج این پژوهش با نتایج دیگر پژوهش‌ها مطابقت دارد که گزارش کردند محلول‌پاشی اوره در پاییز پس از برداشت میوه موجب افزایش مقدار نیتروژن ذخیره اندام‌های مختلف درختان می‌شود و این نیتروژن ذخیره در زمان گل‌دهی و تشکیل میوه در سال آتی، نیتروژن مورد نیاز گل‌آذین‌ها، گل‌ها، میوه‌چه‌ها و برگ‌های جوان و در حال رشد را تأمین می‌کند و موجب افزایش تشکیل میوه می‌شود (Wojcik, 2006; Zubair et al., 2017).

نتایج بیشتر پژوهش‌ها نشان داده است در طول دوره گلدهی و تشکیل میوه، نیاز و تقاضای زیادی برای عناصر غذایی از جمله نیتروژن وجود دارد و از طرف دیگر این دوره، زمانی رخ می‌دهد که به‌طورمعمول درجه حرارت خاک پایین است و به‌طورکلی درجه حرارت خاک کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد است. فعالیت‌های متابولیک ریشه، حلالیت عناصر غذایی در محلول خاک و انتقال عناصر غذایی در مسیر تعرق با کاهش درجه حرارت خاک کاهش می‌یابد (Hamid et al., 1988). بنابراین توانایی درختان برای استفاده از عناصر غذایی مصرفی در خاک به عوامل زیادی غیر از نیاز و تقاضای درختان برای این عناصر بستگی دارد؛ اما محلول‌پاشی برخی عناصر غذایی از جمله نیتروژن در زمان مناسب می‌تواند توسط برگ‌ها یا دیگر اندام‌ها در مراحل خاص فنولوژی جذب شوند و در افزایش عملکرد درختان مرکبات مؤثر باشند (Lovatt, 1999). محلول‌پاشی اوره در طول دوره گل‌انگیزی تا قبل از تمایز جوانه‌های گل موجب افزایش غلظت آمونیم، تعداد شوت‌های زایشی و همچنین تعداد گل‌ها در هر شوت زایشی می‌شود (Lovatt et al., 1988). محلول‌پاشی زمستانه اوره موجب افزایش غلظت آمونیم در بافت برگ می‌شود آمونیم به آرجنین و آرجنین به پلی‌آمین تبدیل می‌شود (Sagee and Lovatt, 1991) و پلی‌آمین‌ها در ایجاد گل‌ها و گلدهی نقش ویژه دارند (Ali and Lovatt,

1995). محلول‌پاشی اوره در زمان گلدهی، غلظت آمونیم، آرجنین و پلی‌آمین‌ها و همچنین سرعت رشد و اندازه میوه‌چه‌ها در گل‌آذین‌های برگ را به‌طور معنی‌داری افزایش می‌دهد (Corona, 1994). نتایج پژوهش‌های متعدد نشان می‌دهد که محلول‌پاشی اوره بیوسنتز پلی‌آمین‌ها را تحریک می‌کند و پلی‌آمین‌ها در تقسیم سلول‌ها نقش دارند و تقسیم سلولی را تشدید می‌کنند.

محلول‌پاشی زمستانه اوره در زمان گل‌آغازی در باغ‌های جنوب کالیفرنیا، عملکرد درختان مرکبات را در سه سال متوالی به‌طور معنی‌داری افزایش داد؛ اما محلول‌پاشی قبل از گل‌آغازی، عملکرد درختان را فقط در دو سال از سه سال متوالی آزمایش افزایش داد و این افزایش عملکرد همراه با کاهش اندازه میوه و ناشی از افزایش غلظت نیتروژن برگ نبود به‌طوری‌که نتایج آزمون برگ نشان داد که غلظت نیتروژن برگ درختان در حد بهینه بود (Lovatt, 1999). گزارش شده که محلول‌پاشی اوره در زمان تمام گل (با غلظت شش در هزار)، عملکرد درختان و تعداد میوه‌ها را به ازای هر درخت افزایش داد، با وجود این‌که نتایج آزمایش برگ درختان در شهریورماه سال گذشته نشان داد که غلظت نیتروژن برگ در حد بهینه بود، این محلول‌پاشی عملکرد درختان را حدود هفت تن در هکتار افزایش داد (Ali and Lovatt, 1995). تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که محلول‌پاشی اوره در طول یا پس از دوره تنش سرما، تعداد گل‌ها را در درختان مرکبات افزایش می‌دهد (Lovatt et al., 1988). محلول‌پاشی اوره در این زمان موجب افزایش غلظت آمونیم در برگ و جوانه‌های گل شده و افزایش پلی‌آمین‌ها، پتانسیل تشکیل گل‌ها و همچنین پتانسیل گل‌ها برای تشکیل میوه را افزایش می‌دهد (Corona, 1994; Lovatt et al., 1992). گزارش‌های Asadi Kangarshahi و Akhlagh Amiri (2021) نشان داد که محلول‌پاشی اوره قبل از تمایز جوانه‌های گل و در زمان گلدهی تأثیر معنی‌داری بر غلظت نیتروژن برگ نداشت اما تشکیل میوه و عملکرد را افزایش داد، در مقابل محلول‌پاشی پس از ریزش تابستانه موجب افزایش معنی‌دار غلظت نیتروژن برگ، تشکیل میوه و عملکرد نسبت به شاهد شد. محلول‌پاشی زمستانه و بهاره (در زمان گلدهی) نیتروژن، تشکیل میوه و عملکرد درختان را افزایش داد نتایج عملکرد درختان با محلول‌پاشی اوره در طی هفت سال نشان داد که اختلاف عملکرد درختان در سال‌های پر محصول و کم محصول در سال‌های شروع آزمایش بسیار زیاد بود اما این اختلاف عملکرد به‌تدریج در سال‌های بعدی کاهش یافت؛ بنابراین، محلول‌پاشی اوره به تدریج موجب تعدیل تناوب باردهی در سال‌های آزمایش شده است (Akhlagh Amiri, 2021 and Asadi Kangarshahi). محلول‌پاشی اوره (محلول-پاشی زمستانه با غلظت هفت در هزار به‌علاوه محلول‌پاشی پس از ریزش فیزیولوژیک میوه‌چه‌ها با غلظت پنج در هزار) همراه با مصرف خاکی نیتروژن پس از برداشت میوه موجب حذف چرخه تناوب باردهی در درختان نارنگی انشو شد (Asadi Kangarshahi et al., 2011). گزارش‌های Karam-Najad و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که محلول‌پاشی زمستانه اوره با غلظت ۰/۷۵ تا ۱/۵ در صد موجب افزایش عملکرد و کنترل تناوب باردهی در درختان نارنگی کینو شد.

نتیجه‌گیری

رشد سالانه و عملکرد میوه درختان مرکبات فقط دارای بخش کوچکی از کود نیتروژنی مصرفی در طول فصل رشد است و بیشتر این کود به اندام‌های دائمی برای حفظ و پایداری ذخیره نیتروژن وارد می‌شود. نیاز نیتروژنی اندام‌های جدید درحال‌توسعه در اوایل فصل، بیشتر از ذخایر نیتروژن در برگ‌های قدیمی، شاخه‌های قدیمی، ساقه و ریشه‌ها تأمین می‌شود و به میزان کمتری از کوددهی اوایل فصل جاری حاصل می‌شود به‌طوری بیش از ۸۰ درصد از نیتروژن مورد نیاز برای رشدهای جدید از نیتروژن ذخیره درختان تأمین می‌شود؛ بنابراین کود نیتروژن مصرفی در سال جاری مستقیماً به میوه‌ها وارد نمی‌شود، بلکه برای کل درخت استفاده می‌شود این کوددهی به‌ویژه کوددهی

تابستانه و پاییزی برای حفظ و پایداری ذخیره نیتروژن در اندام‌های دائمی درختان (تنه، شاخه‌ها و ریشه‌ها) ضروری است. این‌که چرا عدم مصرف نیتروژن در اوایل فصل قبل از گلدهی و تشکیل میوه منجر به کاهش عملکرد نمی‌شود و چرا درختان می‌توانند رشد قوی در بهار داشته باشند زمانی که جذب نیتروژن هنوز بسیار کم است ناشی از ذخیره نیتروژن درختان است. نیتروژن برگ، فقط یک شاخصی از وضعیت نیتروژن درختان است اما به خودی خود فقط بخش کوچکی از نیتروژن کل درخت را نشان می‌دهد اما بیشتر آزمایش‌های کودی با درختان مرکبات نشان داده است که قبل از مشاهده تأثیر نیتروژن بر عملکرد میوه، تفاوت در محتوای نیتروژن برگ ظاهر می‌شود؛ بنابراین با توجه به این‌که راندمان مصرف کودهای نیتروژنی، به‌ویژه در شروع و اوایل فصل رشد بسیار پایین است و از طرف دیگر، تشکیل گل، میوه و رشد فلش‌های بهاره (جهش‌های رشدی در بهار) بیشتر تحت تأثیر مواد غذایی ذخیره‌ی درختان است و این ذخیره، بیشتر به مدیریت کوددهی پس از برداشت و اواخر فصل رشد در سال قبل بستگی دارد، لذا توصیه می‌شود که باغداران، کوددهی قبل از توسعه برگ‌ها و گلدهی در شروع و اوایل فصل را متوقف کنند یا حداکثر پنج الی ۱۰ درصد نیاز سالانه درختان در مرحله رشد و توسعه سرشاخه‌های بهاره گلدهی شروع نمایند. پس از ریزش گلبرگ‌ها و تشکیل میوه به‌تدریج مقدار مصرف نیتروژن (درصدی از نیاز سالانه) را افزایش داده و در نیمه دوم مرحله اول رشد تا اواسط مرحله دوم رشد میوه (با توجه به رقم) به حداکثر مقدار مصرف ارتقا دهند. سپس به‌تدریج مصرف نیتروژن به حداقل مقدار کاهش دهند یا متوقف کنند و مجدداً پس از برداشت، کوددهی نیتروژن جهت افزایش ذخیره نیتروژن اندام‌های دائمی انجام دهند.

پاسخ عملکردی مرکبات به مصرف نیتروژن در مناطق مختلف متغیر است؛ اما بر اساس گزارش آزمایش-های بلندمدت میدانی در باغ‌های مرکبات در ایران، مصرف حدود ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن برای باغ‌های مرکبات بارده به روش کودآبیاری توصیه می‌شود اما برای باغ‌های بدون کودآبیاری (سرک خاکی) به ترتیب ۲۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توصیه می‌شود. به‌طورکلی داده‌های به‌دست‌آمده از نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که از نظر عملکرد میوه، درختان مرکبات به مصرف زیاد نیتروژن پاسخ نمی‌دهند و مصرف بیشتر از ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سال به روش کودآبیاری اغلب موجب کاهش کیفیت میوه می‌شود. البته برای درختان مرکبات مسن بارده با تناوب باردهی در سال آور مانند نارنگی انشو، پرتقال‌های خونی مورو، پرتقال‌های والنسیا در سال آور و ... مصرف حدود ۳۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار توصیه می‌شود؛ اما از نظر مدیریت زمانی کوددهی نیتروژن برای افزایش عملکرد و بهبود کیفیت میوه مرکبات در مناطق مختلف کشور، در مناطق شمالی از کل نیتروژن مورد نیاز سالانه درختان حدود ۳۰ درصد آن در اردیبهشت، ۳۰ درصد در خرداد، ۲۰ درصد در تیر و ۲۰ درصد در مرداد (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) در مناطق جنوبی (استان فارس و کرمان)، حدود ۲۰ درصد آن در فروردین، ۳۰ درصد در اردیبهشت، ۳۰ درصد در خرداد و ۲۰ درصد در تیرماه (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) و در مناطق جنوبی (هرمزگان) حدود ۲۰ درصد آن در اسفند، ۳۰ درصد در فروردین، ۳۰ درصد در اردیبهشت و ۲۰ درصد در خردادماه (متناسب با رقم ممکن است ۱۰ تا ۲۰ درصد تغییر کند) توصیه می‌شود.

Reference

1. Akao, S., Kubota, S., and Hayashida, M., 1978. Utilization of reserve nitrogen, especially autumn nitrogen by Satsuma mandarin trees during the development of spring shoots. Journal Japanese Society of Horticultural Science, 47: 31-38.
2. Akhlaghi Amiri, N., and Asadi Kangarshahi, A., 2015. Possibility of reducing Satsuma mandarin (*Citrus unshiu*) fruit puffing in East of Mazandaran, Iranian Journal of Horticultural Science, 46(4), 590-600. (in Persian).

3. Ali, A.G., and Lovatt, C.J., (1995. Relationship of polyamines to low-temperature stress-induced flowering of the Washington navel orange. Journal Horticultural Science. 70: 491-498.
4. Alva, A K., Paramasivam S., Obreza, T.A., and Schumann, A.W., 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees. I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. Sci. Hort. 107: 233-244.
5. Alva, A.K., and Paramasivam, S., 1998. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 62: 1335-1342.
6. Alva, A.K., Paramasivam, S., and Graham, W.D., 1998. Impact of nitrogen management practices on nutritional status and yield of Valencia orange trees and groundwater nitrate. J. Environ. Qual. 27: 904-910.
7. Alva, A.K., Paramasivam, S., Graham, W., and Wheaton, T.A., 2003. Best nitrogen and irrigation management practices for citrus production in sandy soils. Water. Air. Soil. Pollut. 143: 139-154.
8. Asadi Kangarshahi, A., and Akhlaghi Amiri, N., 2014 a. Advanced and Applied Citrus Nutrition. Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)
9. Asadi Kangarshahi, A., and Akhlaghi Amiri, N., 2014 b. Advanced and Applied Citrus Nutrition. Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)
10. Asadi Kangarshahi, A., and Akhlaghi Amiri, N., 2021. Effect of urea spray accordance with growth phenology on yield and alternate bearing of Satsuma mandarin (*Citrus unshiu*). Iranian Journal of Horticultural Science, 52(1), 99-111. (in Persian)
11. Asadi Kangarshahi, A., and Akhlahghi Amiri, N., 2014. Management of Nitrogen consumption and alternate bearing in citrus trees. Iranian Journal of Achievements in Agricultural Science. 1(2): 95-104. (in Persian)
12. Asadi Kangarshahi, A., Savaghabi, G.R., and Akhlaghi Amiri, N., 2011. Alleviation of alternate bearing in Satsuma mandarin by use of nitrogen managment and pruning in the east of Mazandaran. *Iranian* Journal of Horticultural Sciences. 42(3): 225-217. (in Persian)
13. Asadi Kangarshahi, A., 2019. Nutition Management of Citrus Trees (1th ed). Agricultural Extension and Education Publications. (in Persian)
14. Asadi Kangarshahi, A., 2018**.** Effect of Nitrogen Application Management in Different Phonological Stages on Yield and Alternate Bearing of Satsuma Mandarin *(Citrus unshiu)*. Soil Research, 33(3): Pages 335-321. (in Persian)
15. Asadi Kangarshahi, A., et al., 2016. Guidelines for integrated soil fertility and plant nutrition management of citrus trees in the north and south of the country. Soil and Water Research Institute. Karaj. Iran. (in Persian)
16. Bingham, F. T., Davis, Y., and Shade, E., 1971. Water relations, salt balance and nitrate leaching losses of a 960 acre citrus watershed. Soil Sci. 112: 410-418.
17. Bowman, B.J., 1996. Fertigation versus conventional fertilization of flatwoods grapefruit. Fert. Res. 44: 123-128.
18. Bondada, B.R., Syvertsen, J.P., and Albrigo, L.G., 2001. Urea nitrogen uptake by citrus leaves. HortScience.36: 1061-1065.
19. Carranca, C., Brunetto, G., and Tagliavini, M., 2018. Nitrogen nutrition of fruit trees to reconcile productivity and environmental concerns. Plants. 7: 2-12.
20. Cary, P. R., and Weerts, P. C. J., 1977. Crop management factors affecting growth, yield and fruit composition of citrus. Proc. Int. Soc. Citriculture I, 39-43. Dasberg, S. 1987. Nitrogen fertilization in citrus orchad. Plant and Soil. 100: 1-9.

21. Cheng, L., Dong, S., and Fuchigami, L.A., 2002. Urea uptake and nitrogen mobilization by apple leaves in relation to tree nitrogen status in autumn. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 77: 13-18
22. Corona, J.C., 1994. Relationship of polyamines to fruit set and growth of the Washington navel orange. MS thesis, University of California Riverside.
23. Cox, J.D., Syvertsen, J.P., and Graetz, D.A., 2001. Nitrogen uptake, partitioning and leaching losses from young bearing citrus trees of different nitrogen status. Journal of the Amrican Society of Horticultural Science. 126: 242-251.
24. Dasberg, S., 1978. Nitrogen balance in a citrus grove. Hassadeh. 58: 874-877. *(Hebrew, with English*
25. Dasberg, S., Bielorai, H., and Erner, Y., 1983. Nitrogen fertigation of Shamouti oranges. Plant and Soil. 75: 41-51.
26. Dasberg, S., Erner, Y., and Bielorai, H., 1984. Nitrogen balance in a citrus orchard. J. Environ. Qual. 13: 353-356.
27. Dasberg, S., Bar-Akiva, A., Spazisky, S., and Cohen, A., 1988. Fertigation versus broadcasting in an orange grove. Fert.Res.15: 147-154.
28. Dong, S., Cheng, L., Scagel, C.F., and Fuchigami, L.H., 2002. Nitrogen absorption, translocation and distribution from urea applied in autumn to leaves of young potted apple trees. Tree Physiology. 22: 1305-1310.
29. Duplessis, S. F., 1977. Soil analysis as a necessary complement to leaf analysis for fertilizer advisory purposes. Proc. Int. Soc. Citriculture. 1: 15-20.
30. Embleton, T. W., Reitz, H. J., and Jones, W. W., 1973. Citrus fertilization. *In* The Citrus Industry. Ed. W Reuther. 3: 122-181.
31. Embleton, T.W., and Jones, W.W., 1978. Nitrogen fertilizer management programs, nitrate pollution potentials and orange productivity. *In* Nitrogen in the Environment. Eds. D R Nielsen and T G MacDonald. 1,275-297, Academic Press, New York.
32. Embleton, T.W., Pallares, C.O., Jones, W.W., summers, L.L., and Matsumura, M., 1981. Nitrogen fertilizer management of vigorous lemons and nitrate pollution potential of ground water. Calif. Water Res. Center, Univ. of California Contr. 182: 1-30.
33. Feigenbaum S., Bielorai, H., Erner, Y., and Dasberg, S., 1986. The fate of ^{15}N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. Plant and Soil. 97: 179-187.
34. Feller, U., 1990. Nitrogen remobilization and protein degradation during senescence. P. 195-222. In: Y.P. Abrol (Eds.). Nitrogen in higher plants. Research Studies Press, Somerset England.
35. Goldschmidth, E.E. 2005. Regulatory aspects of alternate bearing in fruit tree. Italus Hortus. 12: 11-17.
36. Groot, C.C., van den Boogaard, R., Marcelis, L.F.M., Harbinson, J., Lamber, H., 2003. Contrasting effects of N and P deprivation on the regulation of photosynthesis in tomato plants in relation to feedback limitation. Journal of Experimental Botany, 54: 1957–1967.
37. Hosseini, Y., Rezazadeh, R., 2014. Investigation of Reducing Alternative Bearing in Siaho Mandarin by Changing Time of Nitrogen Foliar Applications and Harvest Time in Haji Abad (Hormozgan). Soil Research, 29(4): Pages 395-406. (in Persian)
38. Hamid, G.A., VanGundy, S.D., and Lovatt, C.J. 1988. Phenologies of the citrus nematode and citrus roots treated with oxamyl. In: Proceeding of the 6th International Citrus Congress. 2: 993-1004.

39. Iwakiri, T., and Nakahara, M., 1981. Nitrogen fertilization programs in Satsuma mandarin groves in Japan. Proceeding of the International Society of Citriculture. 2: 571-574.
40. Johnson, R.S., Rosecrance, R., Weinbaum, S., Andris, H., and Wang, J., 2001. Can we approach complete dependence on foliar applied urea nitrogen in an early-matering peach. J. Amer. Hort. Sci. 126: 364-370.
41. Karam-Najad, F, Maalemi, N., and creative, A., 2017. The effect of amount and time of urea application on yield and biological characteristics of Kino tangerine trees. Journal of Horticultural Sciences and Techniques. 3 (19): 380-365. (in Persian)
42. Kato, F., Kubota, S., and Tsukahava, S., 1981. N absorption and translocation in Satsuma mandarin trees uptake and distribution of nitrogen supplied in summer. Agricultural Experiment Station of Japan, 36: 1-6.
43. Legaz, F., Serna, M.D., and Primo, E., 1995. Mobilization of the reserve N in citrus. Plant and Soil, 173: 205-210.
44. Legaz, F., Rimo-Millo, E., Primo-Yufero, E., Gill, C., and Rubio, L., 1982. Nitrogen fertilization in citrus. I. absorption and distribution of nitrogen in calamondin trees during flowering, fruit set and initial fruit development periods. Plant and Soil. 66: 339-351.
45. Li, J., Zhang, J., and Rao, M., 2004. Wetting patterns and nitrogen distributions as affected by fertigation strategies from a surface point source. Agri. Water. Mgmt. 67: 9–104.
46. Lovatt, C.J., 1999. Timing citrus and avocado foliar nutrient application to increase fruit set and size. Hortechnology. 9: 607-612.
47. Lovatt, C.J., Sagee, O., and Ali, A.G., 1992. Ammonia and its metabolites influence flowering, fruit set and yield of Washington Navel orange. In: Proceedings of the International Society of Citriculture. 1: 412-416.
48. Lovatt, C.J., Zheng, Y., and Hake, K.D., 1988a. Demonstration of a change in nitrogen metabolism influencing flower initiation in citrus. *Israel Botanists*. 37: 181-188.
49. Lovatt, C.J., Zheng, Y., and Hake, K.D., 1988b. A new look at the Kraus-Kraybill hypothesis and flowering of citrus. In*:* 6th International Citrus Congress. 1: 475-483.
50. Mengel, K., 1992. Nitrogen: Agricultural productivity and environmental problems. P. 2-15. In: K. Mengel and D.J. Pilbeam (Eds.). Nitrogen metabolism of plants. Oxford Press, New York.
51. Mengel, K., and Kirkby, E.A., 1987. Principles of plant nutrition. 4th ed. International Potash Institute, Bern, Switzerland.
52. Millard, P., 1995. Internal cycling of nitrogen in trees. Acta Hortic. 383: 3-14.
53. Okada, M., 2004. Effectiveness of reserved nutrients for estimating productivity of Satsuma mandarin. Journal Japanese Society of Horticultural Science. 73: 163-170.
54. Martinez, B., Quinones, A., Forner, M., Igesias, J., Primo-millo, E., Legaz, F., 2012. Impact fertilizer-water management on nitrogen use efficiency and potential nitrate leaching in citrus trees. Soil Science and Plant Nutrition. 58: 659-669.
55. Moreno, J., and Garcia-Martinez, L., 1984. Nitrogen accumulation and mobilization in citrus leaves throughout the annual cycle. Physiol. Plant. 61: 429-434.
56. Morgan, K.T., Wheaton, T.A., and Castle, W.S., 2009. Response of young and maturing citrus trees grown on a sandy soil to irrigation scheduling, nitrogen, fertilizer rate, and nitrogen application method. Hort. Sci. 44:145-150.

57. Mozhar, M. S., Anwar, R., and Maqbool, M., 2007. A review of alternate bearing in citrus. In: Proceedings International Symposium on Prospects of Horticultural Industry in Pakistan, 143-149.
58. Quiñones, A., Bañuls, J., Primo-Millo, E., and Legaz, F., 2005. Recovery of the ^{15}N-labelled fertilizer in citrus trees relation with timing of application and irrigation system. Pl. Soil. 268: 367-376.
59. Quiñones, A., Martínez-Alcántara, B., and Legaz, F., 2007. Influence of irrigation system and fertilization management on seasonal distribution of N in the soil profile and on N-uptake by citrus trees. Agri. Ecosyst. Environ. 122:399-409.
60. Quaggio, J.A., Souza, T.R., Zambrosi, F.C.B., Mattos, D., Boaretto, R.M., Silva, G., 2019. Citrus fruit yield response to nitrogen and potassium fertilization depends on nutrient-water management system. Hortic. Res. 249, 329–333.
61. Rosecrance, R., Weinbaum, S.A., and Brown, P.H., 1998. Alternate bearing nitrogen, phosphorus, potassium and starch storage pools in mature pistachio trees. 82: 463-470.
62. Rufat, J., and Dejong, T.M., 2001. Estimating seasonal nitrogen dynamics in peach trees in response to nitrogen availability. Tree Physiology. 21: 1113-1140.
63. Reuther, W., Smith, P. F., Scudder, G. K., and Hrnciar, G., 1957. Response of Valencia orange trees to timing, rates and ratios of nitrogen fertilization. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. 70: 223-230.
64. Sagee, O., and Lovatt, C.J., 1991. Putrescine concentration parallels ammonia and arginine metabolism in developing flowers of Washington navel orange. Journal of the American Society for Horticultural Science. 116: 280-285.
65. Sanchez, E.E., 1990. Nitrogen dynamics in field-grown "Comice" pears. Ph.D Thesis, Oregon State University, Corvallis, OR, USA.
66. Sanchez, E.E., Weinbaum, S.A., and Johnson, R.S., 2006. Comparative movement of labelled nitrogen and zinc in peach trees following late-season foliar application. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 81: 839-844.
67. Sanchez, E.E., Rigetti, T.L., Sugar, D., and Lombard, P.B., 1992. Effects of timing of nitrogen application on nitrogen partitioning between vegetative, reproductive and structural components of mature "Comice" pears. J. Hort. Sci.
68. Sanchez, E.E., Khemira, H., Sugar, D., and Righetti, T.L., 1995. Nitrogen management in orchards. P. 327-380. In: P.E. Bacon (ed). Nitrogen fertition in the environment. Marcel Dekher, Newyork.
69. Sanchez, E.E., Weinbaum, S.A., and Johnson, R.S., 2006. Comparative movement of labelled nitrogen and zinc in peach trees following late-season foliar application. Journal of Horticultural Science and Biotechnology. 81: 839-844.
70. Scholberg, J.M.S., Parsons, L.R., Wheaton, T.A., McNeal, B.L., and Morgan, K.T., 2002. Soil temperature, nitrogen concentration and residence time affect nitrogen uptake efficiency in citrus. J. Environ. Qual., 31, 759-768.
71. Shear, C.B., and Faust, M., 1980. Nutritional ranges in deciduous tree fruit and nuts. Horticultural Reviews. 2: 142-163.
72. Shirgure, P.S., and. Srivastava, A.K., 2013. Nutrient- water interaction in citrus. Agricultural Advances. 2: 224-136.
73. Smith, P. F., 1971. Effects of time and application of Nand K and of N rate on performance of nucellar Valencia orange trees on two stocks. J. Am. Soc. Hort. Sci. 96: 568-571.
74. Srivastava, A.K., and Singh, S., 2003. Citrus nutrition. International Book Distributing Co. (IBDC). India.

75. Stevenson, F.J. 1982. Origin and distribution of nitrogen in soils. *In* Nitrogen in Agricultural Soils. Ed. F J Stevenson. Agron. 22, 1-43. ASA, Madison, WI.
76. Sugar, D., Righetti, T.L., Sanchez, E.E., and Khemira, H., 1992. Management of nitrogen and calcium in pear trees for enhancement of fruit resistance to postharvest decay. HortTech. 2: 282-287.
77. Syvertsen, J.P. and Smith, M.L., 1996. Nitrogen uptake efficiency and leaching losses from lysimeter-grown citrus treesfertilized at three nitrogen rates. J. Am. Soc. Hort. Sci., 121: 57-62.
78. Tachibana, S., and Yahataa, S., 1996. Optimizing nitrogen fertilizer application for a high density planting of Satsuma mandarin. Journal of Japanese Society Horticultural Science. 65: 471-477.
79. Tadayon, M., and Hosseini, S., 2020. Effect of spread and shallow irrigation wetted area and application of organic mulch on citrus decline amelioration. Advances in Horticultural Science. 34: 213-221.
80. Tagliavini, M., Millard, P., and Quartieri, M., 1998. Storage of foliar absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine trees. Tree Physiol. 18: 203-207.
81. Thimann, K.V., 1980. The senescence of leaves. p. 85-115. In: Thimann (ed.), Senescence in plants. CRC Press, Bota Raton, FL.
82. Titus, J.S., Kang, S., 1982. Nitrogen metabolism, translocation and recycling trees. Hortic. Rev. 4: 204-245.
83. Tukey, R.B., 1985. Crop potential. Its development and protection. In: Pollination and Fruit Set. Shortcourse Proc. The Goodfruit Grower (ed). pp. 19-35.
84. Turkals, M., Inal, B., Okay, S., Eekilic, E.G., Dundar, E., Hernandez, P., Doredo, G., and Unver, T., 2013. Nutrition metabolism plays an important role in the alternate bearing of olive tree. PLOS ONE. 8:1-15.
85. Wallace, A., Zidan, Z. I., Mueller, R. T., and C. P. North. 1954. Translocation of nitrogen in citrus trees. Am. Soc. Hort. Sci. Proc. 64: 87-105.
86. Wojcik, P., 2006. Effect of postharvest spray of boron and urea on yield and fruit quality of apple trees. Journal of Plant Nutrition. 29: 441-450.
87. Xiong, H., Ma, H., Hu, B., Zhao, H., Wang, J., Rennenberg, H., Shi, X., Zhang, Y., 2021. Nitrogen fertilization stimulates nitrogen assimilation and modifies nitrogen partitioning in the spring shoot leaves of citrus trees. Journal of Plant Physiology. 267: 1-11.
88. Zubair, M., Banday, F.A., Baha, J.A., Rehman, M.V., Hussain, S.S., & Waida, U.I., 2017. Impact of foliar application of urea on fruit set, return bloom and growth of apple cv. Red delicious. Int. J. Curr. Microbial. App. Sci.6: 2123-2130.

Management of Nitrogen Fertilizer Application in Citrus Orchards

A. Asadi Kangarshahi* and N. Akhlaghi Amiri

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

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

Received: June 2023 and Accepted: September 2023

Abstract

Management of nitrogen fertilizer application for citrus trees was evaluated to obtain an enlightened understanding of plant nitrogen requirements, amount of fertilization needed, appropriate fertilization timing, and nitrogen uptake and storage in these plants. The knowledge thus obtained could be effectively exploited toward formulating recommendations that ensure optimized nitrogen fertilization. Mature citrus trees reportedly contain 500 to 1000 kg N/ha, 40 to 50 percent of which belongs in the leaves and fruits while only 15 to 20 kg N is deposited in their skeletal structure. These findings and the long-term survey of citrus fertilization experiments in Iran and elsewhere indicate that annual application of 200 kg N/ha seems sufficient for stable fruit production, improved fruit yield and quality, and proper tree growth and health. Moreover, it is found that 30-50% of this amount of N application will be incorporated into the fruits while about one tenth will be deposited and stored in the tree, with the balance between nitrogen uptake and consumption by the tree being secured by N leaching from the soil profile and lost as gas into the air. The results of an experiment with labeled fertilizers (^{15}N) showed that the highest N-uptake rate in citrus trees occurred during the period from fruit set to fruit maturity and, further, that N uptake was very low during the post-harvest period, especially during minimum tree activity (winter) and the beginning of the growing season. This indicates that nitrogen storage in older tissues plays the greatest role in the growth and development of leaves, branches, flowers, and fruits at the beginning of the growing season when N uptake from the soil is still very low (i.e., when branches and flowers begin to sprout and fruits are in the form). It has also been reported that the nitrogen present in soil organic matter ranges from 1000 to 2000 kg/ha in orchard soils containing 1 to 2% O.M. and that both the soil nitrogen content and that stored in the tree bodies play important roles in regulating the supply of nitrogen to new organs (i.e., leaves, blooms, and fruitlets), especially in the beginning of the growing season. It follows that the purpose behind N fertilization should be to ensure stable production, proper tree growth, and improved fruit yield and quality such that soil application of fertilizers before the flowering and fruit set stages have no effects on the growth of spring buds or flowering and fruit setting in the current year. Producers are, therefore, recommended to start fertilizer application with a maximum of 10-15% of the annual plant requirement during the period prior to flowering and fruit setting, gradually increase application rate (by some percentage of the annual requirement) as determined by the phenology of fruit growth, and increase it to its maximum rate by the middle of the first stage up to the early second stage of fruit growth. Then, in the middle of the second stage of fruit growth, nitrogen rate should be reduced to its minimum or stopped altogether (depending on plant variety).

Key words: N balance, N nutrition, N requirement, N storage

* Corresponding author's email: kangarshahi@gmail.com