



وزارت جهاد کشاورزی
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
موسسه تحقیقات علوم باغبانی
پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری

نشریه فنی

مدیریت کم آبیاری درختان میوه

نویسندگان:

دکترسید اصغر موسوی و دکترمریم تاتاری

شماره ثبت: ۵۲۷۱۲ مورخ: ۹۶/۹/۲۰

شناسنامه نشریه

- محتوای نشریه: نشریه فنی
- عنوان نشریه: مدیریت کم آبیاری درختان میوه
- نویسندگان:
- ۱- سید اصغر موسوی (عضو هیات علمی و استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی چهار محال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران)
- ۲- مریم تاتاری (عضو هیات علمی و استادیار بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران)
- ویراستار علمی و ادبی: دکتر ناصر بوذری
- ناشر: موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری
- شماره نشریه: ۵۲۷۱۲
- شمارگان: الکترونیکی
- تعداد صفحات: ۶۲
- زبان متن: فارسی
- تاریخ انتشار: ۱۳۹۶
- نویسندگان: سید اصغر موسوی و مریم تاتاری
- پست الکترونیکی: asgharmousavi@gmail.com / sa.mousavi@areeo.ac.ir

این نشریه فنی در شورای انتشارات موسسه تحقیقات علوم باغبانی، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری مورد تایید قرار گرفته است و در تاریخ ۹۶/۹/۲۰ به شماره ۵۲۷۱۲. در مرکز فناوری اطلاعات و اطلاع رسانی کشاورزی وابسته به سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی ثبت شده است

نشانی: کرج، جاده محمدشهر، شهرک نهال و بذر، پژوهشکده میوه های معتدله و سردسیری

تلفن: ۰۲۶-۳۶۷۰۲۵۴۱ / ۰۲۶-۳۶۷۰۰۹۰۸ دورنگار: وبگاه: WWW.HSRI.IR

مخاطبان نشریه:

- محققان و کارشناسان باغبانی
- کارشناسان و مروجان ترویج و آموزش کشاورزی
- سایر علاقمندان به مباحث کم آبیاری درختان میوه

اهداف آموزشی نشریه:

شما خوانندگان گرامی در این نشریه با:

- ۱- اهمیت و مزایای استفاده از کم آبیاری در باغ های درختان میوه
- ۲- روشهای کم آبیاری در باغ های درختان میوه
- ۳- کم آبیاری در درختان میوه با توجه به مراحل مختلف فنولوژی میوه
- ۴- مدیریت بهینه آبیاری و صرفه جویی در مصرف آب درختان میوه در شرایط کم آبی
- ۵- عکس العمل های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی درختان میوه به کم آبیاری

آشنا خواهید شد.

۱	چکیده
۲	مقدمه
۳	کم آبیاری (DI)
۴	کم آبیاری تنظیم شده (RDI)
۵	خشکی بخشی از منطقه ریشه (PRD)
۵	عکس العمل های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی درختان میوه به کم آبیاری
۶	تأثیر کم آبیاری بر رشد رویشی در مقایسه با رشد میوه
۶	تأثیر کم آبیاری بر رشد شاخه ها
۷	تأثیر کم آبیاری بر سطح برگ
۷	تأثیر کم آبیاری بر رشد قطری تنه
۸	تأثیر کم آبیاری بر رشد ریشه
۹	تأثیر کم آبیاری بر عملکرد
۹	تأثیر کم آبیاری بر کیفیت میوه
۱۱	برنامه ریزی آبیاری برای مدیریت کم آبیاری
۱۲	کم آبیاری در اوایل فصل رشد (دوره گل دهی و تشکیل میوه)
۱۲	کم آبیاری در مرحله رشد و نمو میوه
۱۴	کم آبیاری در انتهای مرحله رشد میوه
۱۳	کم آبیاری در مرحله پس از برداشت میوه
۱۵	مدیریت کم آبیاری در تعدادی از درختان میوه در شرایط کم آبی
۱۵	مدیریت کم آبیاری در درختان میوه هسته دار
۱۶	مدیریت کم آبیاری برای درختان هلو و شلیل
۱۸	ارقام زودرس هلو
۲۱	ارقام دیررس هلو
۲۲	مدیریت کم آبیاری در درختان زردآلو
۲۳	مدیریت کم آبیاری در درختان گیلاس و آلبالو
۲۵	مدیریت کم آبیاری در درختان آلو و گوجه
۲۶	مدیریت کم آبیاری در درختان بادام
۳۱	مدیریت کم آبیاری در درختان میوه دانه دار
۳۵	مدیریت کم آبیاری در درختان گردو
۳۶	شروع فصل و رشد میوه گردو

۳۷	رشد و نمو درخت و میوه گردو در اواسط فصل رشد
۳۷	مرحله پایانی و رشد و نمو درخت و میوه گردو
۳۹	مدیریت کم آبیاری در درختان زیتون
۴۱	مدیریت کم آبیاری در ارقام کنسروی
۴۲	مدیریت کم آبیاری در ارقام روغنی
۴۳	مدیریت کم آبیاری در انگور
۴۴	کم آبیاری در اوایل فصل رشد
۴۵	کم آبیاری قبل از مرحله تغییر رنگ حبه‌ها
۴۵	کم آبیاری در مرحله بعد از تغییر رنگ حبه‌ها
۴۵	کم آبیاری در مرحله بعد از برداشت
۴۵	اثرات کم آبیاری بر رشد و عملکرد کمی و کیفی انگور
۴۷	مدیریت باغات در شرایط تنش شدید آبی
۴۷	نتیجه‌گیری
۵۰	منابع مورد استفاده

چکیده

کم‌آبیاری یا کسر آبیاری، سیستمی از مدیریت آبیاری است که طی آن در زمان‌های معینی از فصل رشد نسبت به مقدار تبخیر و تعرق واقعی آب کمتری در اختیار گیاه قرار می‌گیرد. در مناطقی که محدودیت منابع آبی وجود دارد، کم‌آبیاری می‌تواند یک راهکار مناسب برای تولید محصول در درختان میوه تحت شرایط کم‌آبی باشد. به دلیل تفاوت بین مراحل رشد رویشی و زایشی در درختان میوه با گیاهان زراعی، می‌توان مدیریت کم‌آبیاری را در شرایط کم‌آبی بر اساس مراحل فنولوژیکی رشد و نمو درختان میوه تنظیم نمود، اما با این وجود تعدادی از باغداران اطلاع دقیقی از مراحل فنولوژی رشد درختان میوه نداشته و جهت دستیابی به محصول مطلوب در طی فصل و تولید محصول در فصل بعدی دقت کافی را در آبیاری محصولشان در شرایط تنش مبذول نمی‌کنند. در برخی درختان میوه مثل درختان میوه هسته‌دار که دارای منحنی رشد سیگموئید دوگانه می‌باشند، می‌توان در مرحله دوم رشد میوه که هم‌زمان با دوره سخت شدن هسته است، با اعمال مدیریت کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی کرد. درختان میوه در مرحله بعد از برداشت معمولاً به تنش آبی تحمل دارند، اما برخی از درختان میوه هسته‌دار مثل درختان بادام و زردآلو در مرحله بعد از برداشت نسبت به تنش آبی حساس‌اند، زیرا تشکیل جوانه‌های گل برای سال بعد در این مرحله انجام می‌شود. در درختان سیب تنش خشکی طولانی مدت در هر زمانی از فصل رشد ممکن است رشد میوه را به طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار دهد، اما خشکی اول فصل صدمه بیشتری وارد می‌آورد. درختان گردو باید در طی فصل رشد آبیاری کامل شوند، فقط دو تا سه هفته در پاییز (از زمان قبل از برداشت تا برداشت محصول) می‌توان میزان آبیاری را کاهش داد. کم‌آب‌دهی در انگور بیشتر بر اساس کاربرد مقدار ثابتی آب در کل فصل است. در درختان زیتون کاهش آبیاری از زمان شروع پر شدن هسته تا دو هفته پس از شروع رسیدن توصیه شده است.

کلمات کلیدی: خشکی، کم‌آبیاری، درختان میوه، تبخیر و تعرق، مدیریت

مقدمه

کمبود آب مهم‌ترین عامل محدود کننده تولیدات کشاورزی بخصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌گردد. از آنجایی که بیشتر نقاط کشور ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند و دارای منابع آب محدودی هستند، بنابراین آب اولین و مهم‌ترین عامل محدودیت در افزایش تولید محصول در درختان میوه است. با توجه به پیش‌بینی‌های انجام شده تغییرات اقلیمی در جهت گرم شدن هوا بوده و در نتیجه نیاز آبی درختان میوه افزایش یافته و استفاده از منابع آب هر چه بیشتر محدود خواهد گردید، لذا نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای استفاده بهینه از منابع آب موجود در آبیاری درختان میوه احساس می‌گردد. برای رسیدن به این مهم مدیریت صحیح در کاهش تلفات آب، تعیین نیاز آبیو مدیریت صحیح آبیاری درختان میوه در مناطق مختلف کشور ضروری است (وطن پور ازغندیوناخدا، ۱۳۸۲). در واقع، آب یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی است که مصرف آن به طور روزافزون رو به افزایش است. این افزایش به طور عمده به دلیل رشد جمعیت، توسعه صنعتی و کاهش کیفیت آب‌ها می‌باشد. آب مورد استفاده در بخش کشاورزی بیش از ۸۵ درصد آب مصرفی جهان را شامل می‌شود و صرفه‌جویی در این بخش حتی به میزان بسیار اندک به طور قابل ملاحظه‌ای آب قابل دسترس برای مصارف شهری و صنعتی را افزایش می‌دهد. همچنین با وجود بحران کم‌آبی که در سال‌های اخیر به صورتی بسیار حاد نمود پیدا کرده است، موجب صرفه‌جویی بسیار چشمگیری در آب مورد نیاز در بخش کشاورزی خواهد شد. از این‌رو مدیریت صحیح در مصرف آب بیشتر از یافتن منابع جدید آبی در بخش کشاورزی اهمیت می‌یابد (Behboudian and Mills, 1997; Lopez et al., 2012). کم آبیاری (کسر آبیاری یا آبیاری محدود) یکی از راه‌های صرفه‌جویی در مصرف آب در کشاورزی است (Fereres and Soriano, 2007).

کم آبیاری علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف آب، بر محیط زیست نیز تأثیر مثبتی دارد. با وجود این که خاک‌های لومی - شنی سبک با زهکشی خوب برای باغ‌های میوه بسیار مناسب هستند، اما شستشوی عناصر غذایی و سموم دفع آفات به آب‌های زیرزمینی در این خاک‌ها بیشتر است. از این‌رو هم عناصر غذایی و نمک‌های معدنی از دسترس ریشه‌ها خارج می‌شوند و هم خطر آلودگی محیط زیست افزایش می‌یابد. آبیاری محدود در کنار کاهش مصرف کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات در جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی مفید بوده و می‌تواند به عنوان بخشی از برنامه‌های حفاظت محیط زیست استفاده شود. زیرا در سیستم آبیاری محدود، علاوه بر کاهش مصرف کود شیمیایی و سموم دفع آفات، در نتیجه مدیریت مصرف آب، شستشوی عناصر غذایی به آب‌های زیر زمینی در این روش کمتر خواهد بود (Behboudian and Mills, 1997). درختان میوه از جمله گیاهانی هستند که حجم آب زیادی برای تولید محصول مصرف می‌کنند. براساسبرخیت تحقیقات و محاسبات انجام یافته‌ها نیاز آبی تقریبی برای درختان میوه به شرح جدول ۱ است (دولت‌شاهی و همکاران، ۱۳۸۸).

جدول ۱- نیاز آبی سالیانه گونه‌های مختلف درختان میوه (بر حسب متر مکعب)
در سیستم آبیاری قطره ای (دولت‌شاهی و همکاران، ۱۳۸۸)

ردیف	محصول (درخت میوه)	نیاز آبی سالانه (متر مکعب در سال)
۱	سیب	۵۰۰۰-۶۰۰۰
۲	گلابی	۵۰۰۰-۶۰۰۰
۳	به	۴۰۰۰-۵۰۰۰
۴	هلو	۵۵۰۰-۶۵۰۰
۵	شلیل	۵۵۰۰-۶۵۰۰
۶	زردآلو	۵۰۰۰-۷۰۰۰
۷	بادام	۴۵۰۰-۵۵۰۰
۸	آلبالو	۵۰۰۰-۷۰۰۰
۹	گیلاس	۵۰۰۰-۷۰۰۰
۱۰	آلو و گوجه	۵۵۰۰-۶۵۰۰
۱۱	پسته	۴۵۰۰-۵۵۰۰
۱۲	گردو	۷۰۰۰-۹۰۰۰
۱۳	فندق	۶۰۰۰-۸۰۰۰
۱۴	انگور	۶۰۰۰-۸۰۰۰
۱۵	انار	۴۵۰۰-۵۰۰۰
۱۶	انجیر	۴۵۰۰-۵۰۰۰
۱۷	زیتون	۴۵۰۰-۵۵۰۰

با محدودیت آب آبیاری در شرایط کم‌آبی، یک تغییر اساسی در مدیریت آبیاری در باغ‌های میوه صورت می‌گیرد (موسوی، ۱۳۷۱). در شرایطی که میزان بارندگی در یک سال کم باشد و یا در مناطقی که در تمام سال‌ها آب موجود کم است، اطلاع داشتن از واکنش درختان میوه و حساسیت مراحل فنولوژیکی رشد میوه آنها نسبت به کم‌آبی و تنش رطوبتی بسیار مهم است. در این شرایط بایستی با شناخت از واکنش درختان در مراحل فنولوژیکی رشد و نمو میوه، چگونگی صرفه جویی در مصرف آب بررسی شود تا اگر قرار است تنشی به درختان وارد شود، این تنش در مرحله‌ای از رشد و نمو در طی فصل رشد صورت گیرد که کمترین اثر را روی کیفیت و کمیت محصول سال جاری و عملکرد در سال بعدی داشته باشد (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011; Lopez *et al.*, 2012).

شناخت دوره‌های بحرانی و حساس در طی فصل رشد و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو میوه از نظر نیاز آبی به منظور جلوگیری از صدمه و خسارت به رشد و عملکرد درختان میوه اهمیت زیادی دارد. همچنین شناخت دوره‌ها یا مراحل که تحمل بیشتری نسبت به تنش‌های آبی یا محدودیت آبیاری نشان می‌دهند نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. برای درک بهتر اثرات خشکی روی عملکرد لازم است عکس العمل درختان میوه در طی مراحل فنولوژیکی رشد و نمو در طی فصل مشخص گردد، زیرا تنش آبی در زمان‌های مختلف فصل رشد، اثرات متفاوتی بدنبال خواهد داشت. انتظار می‌رود که کاربرد سیستم آبیاری محدود در نواحی خشک از نواحی مرطوب موفقیت زیادی داشته باشد، زیرا در نواحی مرطوب بارندگی می‌تواند مانع رسیدن به وضعیت آبی مورد نظر در گیاه گردد (Behboudian and Mills, 1997).

کم آبیاری^۱ (DI)

کم آبیاری (آبیاری محدود یا کسر آبیاری) روشی است که از سال‌ها پیش برای کاهش مصرف آب پیشنهاد شده است. کم آبیاری در زمانی که حساسیت گیاه به تنش آبی حداقل است و آب موجود برای دستیابی به حداکثر محصول ناکافی است، به کار می‌رود. در این سیستم مقدار آب به کار رفته کمتر از مقدار آب مورد نیاز برای دستیابی به حداکثر عملکرد است. کاهش مصرف آب معمولاً با محدود کردن تعرق و به دنبال آن جذب کمتر کربن، میزان تبخیر و تعرق واقعی^۲ و میزان رشد را کاهش می‌دهد، بنابراین دانستن حداکثر امکان کاهش تبخیر و تعرق واقعی که همراه با داشتن محصول رضایت بخش در درختان میوه بالغ باشد، ضروری است (Lopez et al., 2012; Behboudian and Mills, 1997). در درختان میوه نونهال (نهالستان‌ها) هدف اصلی به حداکثر رساندن سرعت رشد درخت است که این امر مستلزم اجتناب از هرگونه کم آبیاری و حتی کم آبیاری ملایم است، از اینرو محدود کردن آبیاری برای درختان بالغ به کار می‌رود. کاربرد صحیح کم آبیاری در درختان بالغ نیازمند داشتن اطلاعات کافی از پاسخ درخت به کم آبیاری و اثرات اقتصادی آن در میزان کاهش محصول است (Ruiz Sanchez et al., 2010).

از مزایای کم آبیاری می‌توان به افزایش کارایی مصرف آب و نیز کاهش هزینه آبیاری و سایر هزینه‌های تولید اشاره کرد (Ruiz Sanchez et al., 2010). کم آبیاری می‌تواند حجم ریشه‌های فعال را کاسته و موجب کاهش رشد گیاه و افزایش باردهی درختان گردد. محدود کردن آبیاری در ناحیه ریشه‌ها، در صورتی که تا زمان شروع رشد سریع میوه‌ها اعمال گردد، عمدتاً بر نمو شاخه‌ها تأثیر خواهد گذاشت. امروزه کم آبیاری به طور رایج در بیشتر نواحی جهان بویژه در نواحی خشک پیاده می‌شود. در این نواحی به حداکثر رساندن بهره‌وری آب برای باغداران می‌تواند سودمندتر از به حداکثر رساندن میزان

^۱Deficit Irrigation

^۲Evapo-transpiration (ETc)

برداشت در واحد سطح باشد. آب ذخیره شده از این طریق را می‌توان برای آبیاری واحدهای دیگر کشاورزی یا برای اهداف دیگر به کار برد (Ruiz Sanchez *et al.*, 2010; Behboudian and Mills, 1997). مدیریت کم‌آبیاری می‌تواند ابزاری قوی برای دستکاری رشد گیاه به منظور رساندن کامل میوه همراه با رشد رویشی کمتر باشد. برای رسیدن به کم‌آبیاری موفقیت‌آمیز انجام تفکیک مناسبی بین دوره‌های اصلی رشد رویشی و رشد میوه در گیاه ضروری است (Behboudian and Mills, 1997).

کم‌آبیاری تنظیم شده^۱ (RDI)

کم‌آبیاری تنظیم شده یا آبیاری محدود کنترل شده یعنی برآورده کردن بخشی از نیاز آبی گیاه در طی مراحل رشد و نمو آن می‌باشد. در واقع، کم‌آبیاری تنظیم شده عبارت از کاربرد آب در مقادیر کمتر از مقدار تبخیر و تعرق واقعی در دوره‌های خاصی از سیکل رشد و یا مراحل فنولوژیکی رشد و نمو گیاه است. در واقع کم‌آبیاری تنظیم شده در مواقعی اعمال می‌شود که رشد میوه به طور نسبی کند است و تنش خشکی بر رشد رویشی و سایر فرایندها اثرگذار خواهد بود (Ruiz Sanchez *et al.*, 2010). بیشترین مصرف آب از منابع آب موجود، در بخش کشاورزی است، اما در سال‌های اخیر در اثر افزایش تقاضای آب (به دلیل افزایش جمعیت و افزایش سطوح زیرکشت) و خشکی‌های دوره‌ای و شرایط کم‌آبی، منابع آب قابل استفاده، رو به کاهش گذاشته است. در مدیریت کم‌آبیاری رفع نیاز آبی کامل گیاه به برطرف کردن بخشی از نیاز آن تبدیل می‌شود. یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های امیدبخش که به این هدف کمک می‌کند، تنظیم کم‌آبیاری است. پتانسیل این تکنیک به عنوان روشی در استفاده درختان میوه از مقدار آب کمتر، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به دست آمده، کم‌آبیاری یا بی‌آبی بودن این روش آبیاری را بر میزان محصول و کیفیت میوه نشان می‌دهند (Ruiz Sanchez *et al.*, 2010). آبیاری محدود کنترل شده در منابع جهت بیان آبیاری محدودی به کار می‌رود که روی درختان میوه در اوایل فصل و قبل از شروع رشد سریع میوه اعمال می‌گردد. آبیاری محدود کنترل شده انتهای فصل به آبیاری محدودی اطلاق می‌شود که قبل از برداشت میوه و در طول دوره‌ای که بسته به هدف، گونه و شرایط محیطی متفاوت است، اعمال می‌گردد. این روش مدیریتی نیز برخی اوقات جهت بهبود کیفیت میوه استفاده می‌شود (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011). کم‌آبیاری تنظیم شده یک روش آبیاری توسعه یافته است که بر اساس استفاده از تنش آبی برای کنترل رشد رویشی که در رقابت با رشد میوه است، طراحی گردیده است. این روش نسبت به روش کم‌آبیاری تمرکز بیشتری روی فیزیولوژی محصول دارد، زیرا اثرات خشکی بسته به شدت و مدت تنش در مراحل فیزیولوژیکی مختلف می‌تواند افزایش یا کاهش یابد (Mitchell and Chalmers, 1982).

¹Regulated deficit irrigation

خشکی بخشی از منطقه ریشه^۱ (PRD)

در این روش بخشی از سیستم ریشه آبیاری می‌شود در حالیکه بخش‌های دیگر آن خشک می‌ماند. به این منظور دو نیمه به طور متناوب آبیاری می‌شوند. در چندین گونه گیاهی گزارش شده که وقتی بخشی از سیستم ریشه در معرض خشکی قرار گیرد، سیگنال‌هایی از ریشه به شاخساره به جریان می‌افتد. این سیگنال‌ها از طریق آوند به برگ‌ها منتقل می‌شوند و منجر به بسته شدن جزیی روزنه‌ها می‌گردند (Dodd, 2005; Egea, 2008). این تنظیم روزنه‌ای از دست‌دهی آب از طریق تعرق را کاهش داده و اثر کمتری بر فتوسنتز خواهد داشت (Stoll, 2000). در زمان تنش خشکی و کاهش رطوبت خاک، هورمون آبسزیک اسید (ABA) در کنترل هدایت روزنه‌ای دخالت دارد (Dodd, 2005). در این روش بخشی از سیستم ریشه که دریافت کننده آب است، ۵۰ درصد نیاز آبی درخت را دریافت کرده و تعادل آبی مناسبی در بخش هوایی گیاه ایجاد می‌شود (Dry and Loveys, 1999) و رشد رویشی نیز محدود می‌شود (Egea, 2008). تحقیقات اخیر قابلیت استفاده از این تکنیک را در افزایش کمیت و کیفیت محصول انگور در مقایسه با کسر آبیاری تنظیم شده تأیید می‌نماید (Antolin et al., 2006; Dos Santos et al., 2007; De La Hera et al., 2007; Du et al., 2008; Egea et al., 2006). گونه‌های درختان میوه روش PRD نتایج مشابهی با روش RDI نشان داده است (Ruiz- Sanchez et al., 2010).

عکس‌العمل‌های فنولوژیکی و فیزیولوژیکی درختان میوه به کم‌آبیاری

درختان میوه خزان‌دار گیاهانی چند ساله هستند که بسته به مراحل فیزیولوژیک چرخه زندگی خود واکنش متفاوتی به کم‌آبی نشان می‌دهند. بیشتر فرآیندها در گیاهان به صورت دوره‌ای اتفاق می‌افتند و در طی دوره‌های فعال خود حساسیت زیادتری به کم‌آبی و دیگر شرایط محیطی دارند (Ruiz- Sanchez et al., 2010).

تفاوت مراحل فنولوژیکی رشد میوه و شاخه‌ها در برخی از درختان میوه از جمله میوه‌های هسته‌دار، انجیر، پسته و انگور دیده می‌شود. این تفاوت زمانی بین مراحل رشد شاخه و میوه اعمال کم‌آبیاری را امکان‌پذیر می‌کند و گیاه را قادر می‌سازد که رشد رویشی نامناسب را با کاهش آب گیاه محدود کند. اندام‌ها، بافت‌ها و فرآیندهای مختلف گیاه حساسیت‌های متفاوتی به پایین بودن وضعیت آبی گیاه دارند. در هر پتانسیل آبی که بزرگ شدن سلول‌ها متوقف شود، فتوسنتز و انتقال مواد غذایی تحت تأثیر قرار نگرفته و یا تأثیر بسیار اندکی می‌پذیرد. به نظر می‌رسد میوه‌ها کمتر از شاخه‌ها تحت تأثیر کم‌آبی قرار می‌گیرند، زیرا میوه‌ها سینک قوی‌تری بوده و مقادیر زیادی از نمک‌های محلول را در طول فصل ذخیره

¹Partial root zone drying

می‌کنند. این امر استفاده از کم‌آبیاری را در گونه‌هایی مانند میوه‌های دانه‌دار، گردو و فندق نیز که رشد شاخه و میوه آنها بر هم منطبق است، امکان‌پذیر می‌کند (Behboudian and Mills, 1997).

تأثیر کم‌آبیاری بر رشد رویش‌در مقایسه با رشد میوه

در درختان میوه دوره رشد رویشی به عنوان دوره حساس برای کم‌آبیاری شناخته شده است. در پاسخ به کم‌آبیاری طولی شدن شاخساره و مقطع عرضی تنه کاهش می‌یابد و منجر به کاهش اندازه درخت و کوچک‌تر شدن تاج درخت می‌شود (Girina et al., 2005; Marsalet et al., 2008; Perez Pastor et al., 2009). کم‌آبیاری برای اولین بار در کشت متراکم هلو دیررس گلدن کوئین (Chalmers et al., 1981) و گلابی بارتلت (Behboudian and Mills, 1997) در استرالیا و به عنوان سیستمی جهت کنترل رشد رویشی درختان استفاده شد. کم‌آبیاری پس از استرالیا در سایر کشورها نیز به کار رفت. بطورمثال مطالعات دقیقی در رابطه با فیزیولوژی درختان میوه به ویژه هلو در شرایط کم‌آبیاری در کالیفرنیا انجام شده است (Girona et al., 1993). این سیستم تنها در شرایط خاصی قادر به کنترل رشد رویشی است (Behboudian and Mills, 1997). در استفاده از روش آبیاری محدود باید شرایط مناسبی فراهم باشد تا بتوان به طور اقتصادی از این سیستم بهره برد. عمق خاک یکی از شرایط مهم در موفقیت استفاده از این روش می‌باشد. بطور مثال این سیستم روی آلودی فرانسوی در خاک‌های عمیق و نیمه-عمیق نه تنها موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های آبیاری شده است، بلکه در افزایش عملکرد میوه نیز تأثیر مثبت داشته است اما کاربرد این سیستم در خاک‌های کم‌عمق موجب کاهش بازده اقتصادی شده است (Lampinen et al., 1995).

تأثیر کم‌آبیاری بر رشد شاخه‌ها

اهمیت کنترل رشد رویشی در درختان میوه به خوبی مشخص شده است. از آنجایی که میوه‌ها در مراحل اولیه رشد خود (دوره اول طولی شدن سلولی) نیاز کمتری به عناصر غذایی داشته و حساسیت کمتری به کم‌آبی نسبت به شاخه‌ها دارند، کم‌آبیاری به طور قابل توجهی رشد شاخه‌ها را بدون تأثیر بر رشد میوه کاهش می‌دهد (Behboudian and Mills, 1997). با شروع فصل رویش در هلو، گلابی و سیب دیررس، رشد میوه‌ها به دنبال رشد شاخه‌ها انجام می‌شود. کاهش رشد رویشی در تیمار کم‌آبیاری عمدتاً به دلیل حساسیت بیشتر فرایند رشد شاخه است. کنترل رشد رویشی در شرایط کم‌آبیاری مقدار هرس زمستانه را در هلو، گلابی و سیب دیررس کاهش می‌دهد. صرف نظر از ارزش اقتصادی کاهش هزینه‌های هرس، کاهش رشد رویشی می‌تواند رقابت برای مواد فتوسنتزی را بین میوه‌ها و اندام‌های رویشی کاهش داده و بنابراین اندازه میوه‌ها را نیز بزرگ‌تر می‌کند. رشد رویشی کمتر نفوذ بهتر نور به تاج درخت را نیز امکان‌پذیر می‌سازد. این امر موجب رنگ‌گیری بهتر میوه‌ها شده و راندمان محلول‌پاشی روی تاج درخت را نیز افزایش می‌دهد (Behboudian and Mills, 1997).

تأثیر کم آبیاری بر سطح برگ

تنظیم سطح برگ نقش مهمی در سازگاری درختان میوه به کم آبی دارد. کاهش سطح برگ در شرایط تنش آبی به عوامل متعددی از جمله کاهش رشد شاخه‌ها، کاهش تعداد کل برگ‌ها و کاهش رشد برگ‌ها بستگی دارد. کاهش رشد برگ‌ها به دلیل حساسیت زیاد رشد سلولی به پایین بودن میزان آب گیاه است. شاخص سطح برگ¹ در درختان هلو¹ تحت تیمار کم آبیاری کاهش یافت (Boland *et al.*, 1993). در سیب و گلابی کاهش شاخص سطح برگ ممکن است موجب کاهش جذب نور شود که در نهایت موجب کاهش ماده‌سازی و تولید ماده خشک می‌گردد، بنابراین کاهش جذب نور می‌تواند ماده‌سازی را در درختان میوه کاهش دهد.

تأثیر کم آبیاری بر رشد قطری تنه

کم آبی موجب کاهش رشد تنه در سیب، هلو و گلابی شده است. این مسئله باعث کاهش اندازه کل گیاه می‌گردد. رشد قطری تنه به صورت خطی با وزن بخش‌های هوایی درخت وابسته است. در صورت هرس زیاد این رابطه خطی وجود نخواهد داشت. بر خلاف رشد شاخه‌ها، رشد قطری تنه در طول فصل ادامه پیدا می‌کند، اما از سرعت کمتری برخوردار است، بنابراین تنش آبی شدید در هر زمان از فصل رشد می‌تواند رشد قطری تنه را کاهش دهد (Mills *et al.*, 1996). بیشتر مطالعات، قطر تنه را به عنوان حساس‌ترین شاخص نسبت به وضعیت آب گزارش کرده‌اند (Ortuno *et al.*, 2006; Conejero *et al.*, 2007).

تأثیر کم آبیاری بر رشد ریشه

تنش آبی سهم ماده خشک برای ریشه‌ها را نسبت به شاخه‌ها افزایش می‌دهد. این امر احتمالاً به این دلیل است که ریشه‌ها کمتر از شاخه‌ها تحت تنش خشکی شدید قرار می‌گیرند، هرچند مقدار رشد مطلق ریشه‌ها نیز ممکن است تحت شرایط کم آبی کاهش یابد (Behboudian and Mills, 1997). رشد و فعالیت ریشه‌ها و شاخه‌ها تعادل برقرار است. محدود کردن رشد ریشه‌ها توسط روش‌های مدیریتی در درختانی که به سن بلوغ رسیده‌اند می‌تواند برای کاهش رشد رویشی درختان به کار رود. تأثیر ثانویه این عمل افزایش تعداد گل‌ها، تراکم گل‌دهی و انتقال ماده خشک به میوه‌ها می‌باشد. حجم ریشه را می‌توان با روش‌هایی مانند تراکم کاشت، نوع پایه و مدیریت آب محدود کرد. کم آبیاری می‌تواند حجم ریشه‌های فعال را کاسته و موجب کاهش رشد گیاه و افزایش باردهی درخت گردد. کم آبی در ناحیه ریشه‌ها در صورتی که تا زمان شروع رشد سریع میوه‌ها اعمال گردد، به طور عمده بر نمو شاخه‌ها تأثیر خواهد گذاشت (Behboudian and Mills, 1997).

¹Leaf Area Index

افزایش عمق ریشه‌دهی و طول ریشه‌ها در واکنش به کم‌آبی به عنوان یک مکانیسم سازگاری مهم در بهبود جذب آب می‌باشد. در شرایط تنش کم‌آبی افزایش نسبت ریشه به شاخه نیز می‌تواند اتفاق افتد، زیرا رشد شاخه‌ها عموماً بیشتر از رشد ریشه‌ها کاهش می‌یابد (Kramer and Boyer, 1995). افزایش نسبت ریشه به شاخه تأمین بهتر آب را برای شاخه‌های موجود فراهم کرده و تحمل گیاه را به کمبود رطوبت خاک افزایش می‌دهد (Behboudian and Mills, 1997).

تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد

تأثیر هر گونه استراتژی مدیریتی بر محصولات باغبانی باید بر اساس عملکرد قابل عرضه به بازار مورد بررسی قرار گیرد. در درختان میوه خزان‌دار عملکرد اقتصادی درخت به تعداد و اندازه میوه‌ها بستگی دارد. همچنین عملکرد نهایی وابسته به آبیاری، شرایط اقلیمی در سال برداشت و نیز گل‌انگیزی در دوره پس از برداشت محصول طی سال قبل است. تعداد میوه به تعداد گل‌های تشکیل شده و تشکیل میوه نهایی بستگی دارد (Behboudian and Mills, 1997). هرس و تنک بر بارگیری¹ میوه مؤثر است. به طور کلی بارگیری زیاد میوه حساسیت رشد میوه به تنش آبی را افزایش می‌دهد (Marsal et al., 2008).

تأثیر کم‌آبیاری بر کیفیت میوه

مصرف‌کنندگان، هر میوه را با کیفیت مشخصی ترجیح می‌دهند. عطر، بافت و ظاهر میوه نقش مهمی در کیفیت بیشتر میوه‌ها بازی می‌کند. یکی از مهم‌ترین عوامل در تعیین کیفیت میوه، بلوغ میوه جهت مصرف است که تحت عنوان بلوغ تجاری نامیده می‌شود. کم‌آبیاری ممکن است بلوغ میوه سیب و گلابی را کاهش دهد، بنابراین تغییر کیفیت میوه در شرایط کم‌آبیاری می‌تواند اتفاق بیفتد (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian et al., 2011).

سختی و یا بافت میوه سیب بسیار مهم بوده و تحت تأثیر بلوغ میوه قرار می‌گیرد. سختی میوه‌های سیب و گلابی با رسیدن آنها کاهش می‌یابد. سختی میوه تحت تأثیر اندازه میوه نیز می‌باشد. میوه‌های کوچک‌تر به دلیل تراکم سلولی زیادتر معمولاً سخت‌تر از میوه‌های بزرگ‌تر هستند. از نظر تئوری تیمارهایی که اندازه میوه را کاهش می‌دهند، باعث افزایش سختی میوه‌ها می‌شوند. میزان مواد جامد محلول و اسیدیته تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر طعم میوه سیب دارند. افزایش معنی‌دار در مواد جامد محلول میوه درختان سیب، هلو و گلابی در شرایط کم‌آبی مشاهده شده است. در مقابل، کم‌آبیاری ابتدای فصل مقدار مواد جامد محلول را در گلابی اروپایی کاهش داد و هیچ تأثیری بر گلابی آسیایی و هلو نداشت. در میوه‌هایی که در شرایط کم‌آبی بوده و سپس در طول مراحل انتهایی رشد به طور کامل آبیاری می‌-

¹Load

شوند، افزایش محتوای آب ممکن است موجب رقیق شدن نمک‌های محلول و در نتیجه کاهش مواد جامد محلول شود (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011).

رنگ سیب قرمز به دلیل وجود آنتوسیانین‌ها است که توسط نور و دمای خنک تحریک می‌شود. میلز و همکاران (Mills *et al.*, 1996) مشاهده کردند که رنگدانه‌های قرمز در میوه‌هایی که در معرض نور مناسب قرار دارند، در درختانی که در شرایط کمبود آب به سر می‌برند افزایش می‌یابد. آنها پیشنهاد کردند که این امر ممکن است به دلیل افزایش تجمع قندهای میوه باشد که نقش مهمی در تشکیل آنتوسیانین‌ها بازی می‌کنند. همچنین عواملی که قبل از برداشت مقدار کربوهیدرات‌ها را در میوه افزایش می‌دهند، تشکیل رنگدانه آنتوسیانین را نیز افزایش می‌دهند. در ارقام سیب سبز و یا زرد رنگ مانند گرانی اسمیت و گلدن دلشیز، کلروفیل و کارتنوئیدها به عنوان رنگدانه‌های غالب پوست هستند. همچنین گزارش شده که رنگ زرد سیب گلدن دلشیز در زمان برداشت تحت شرایط کم‌آبی افزایش می‌یابد (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011). رنگ پوست هلو از گلی با زمینه زرد رنگ تا زرد یکنواخت متفاوت است. رنگ زرد میوه به دلیل وجود کارتنوئیدها بوده و رنگ قرمز به دلیل آنتوسیانین‌ها می‌باشد. افزایش نفوذ نور به داخل تاج درخت، رنگ‌گیری میوه هلو را افزایش می‌دهد. رنگ گلابی به دلیل رنگدانه‌های کلروفیل و کارتنوئید است. تشکیل رنگ زرد بستگی به شکسته شدن کلروفیل و تولید کارتنوئیدها داشته و رنگ گلی (سرخابی) به دلیل آنتوسیانین‌ها است (Buendia *et al.*, 2008). شکسته شدن کلروفیل جهت تشکیل رنگ زرد و قرمز در حضور نیتروژن بالا متوقف می‌شود. کم‌آبیاری مقدار نیتروژن را در میوه سیب و گلابی کاهش می‌دهد (Mills *et al.*, 1996)، بنابراین کاهش غلظت نیتروژن در میوه‌ها ممکن است نقش مهمی در تشکیل رنگ مناسب در شرایط کم‌آبیاری داشته باشد (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011).

یکی از مسائل مهم در تعیین کیفیت میوه وجود ناهنجاری‌های زمان برداشت و در طی انبارداری محصول است. میوه‌های سیب در شرایط کم‌آبیاری آلودگی کمتری به عارضه لکه تلخ، سوختگی و شفاف شدگی ناحیه برچه‌ها دارند. همچنین از شدت بروز لکه سبز و لکه چوب‌پنبه‌ای در میوه‌های گلابی تحت کم‌آبیاری کاسته می‌شود (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011). بروز ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی در میوه‌ها با ترکیب عناصر غذایی میوه مربوط است. میوه‌ها در غلظت خاصی از عناصر غذایی حداکثر قابلیت انباری را دارند. کمبود کلسیم در میوه سیب ممکن است موجب بروز لکه تلخ و شفاف شدن ناحیه برچه‌ها شود. لکه چوب‌پنبه‌ای نیز که یک ناهنجاری برای سیب و گلابی می‌باشد که به میزان کلسیم وابسته است. نیتروژن نقش مهمی در کیفیت میوه‌های انباری دارد. افزایش غلظت نیتروژن در میوه سیب امکان آلودگی به پوسیدگی را افزایش می‌دهد. کم‌آبی غلظت نیتروژن و کلسیم را در میوه‌های سیب کاهش می‌دهد، بنابراین کم‌آبی با کاهش غلظت کلسیم می‌تواند تأثیر منفی بر کیفیت میوه سیب داشته باشد. از طرف دیگر با کاهش غلظت نیتروژن می‌تواند تأثیر مثبت نیز داشته باشد. غلظت نیتروژن در میوه گلابی تحت تأثیر کم‌آبی نیز کاسته شد ولی غلظت

کلسیم افزایش نشان داد (Behboudian *et al.*, 2011). گزارش‌های ضد و نقیضی در مورد تأثیر کم-آبیاری بر غلظت کلسیم وجود دارد که احتمالاً به دلیل تفاوت در زمان اعمال کم‌آبیاری و الگوی انتقال کلسیم در درخت می‌باشد. انتقال کلسیم در مسیر تعرق بوده و هر گونه کاهش در تعرق موجب کاهش انتقال کلسیم در گیاه می‌گردد. اگرچه با کاهش وضعیت آب در گیاه، رشد رویشی نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد و در شرایط خشکی مقدار کلسیم بیشتری به میوه‌ها می‌رسد. از آنجایی که بیشترین مقدار انتقال و تجمع کلسیم در میوه سیب در ابتدای فصل صورت می‌گیرد، احتمالاً کم‌آبی در این هنگام تأثیر بیشتری بر غلظت کلسیم دارد. میوه‌های درختان تحت تیمار کم‌آبیاری در ابتدای فصل حساسیت بیشتری به ترکیدگی و شکافتگی دارند، زیرا این ناهنجاری‌ها به غلظت کلسیم در میوه‌ها بستگی دارند. البته این مسئله به رقم نیز بستگی دارد، زیرا هیچ‌گونه ناهنجاری مربوط به ترکیدگی و شکافتگی در میوه‌های سیب رقم برابر در رژیم‌های متفاوت کم‌آبیاری صرفنظر از غلظت کلسیم میوه مشاهده نشده است (Behboudian and Mills, 1997; Behboudian *et al.*, 2011). هلوهای تحت کم‌آبیاری آلودگی کمتری از درختان آبیاری شده به پوسیدگی‌های قارچی داشتند. کم‌آبیاری در مراحل رشد میوه هلو و زردآلو منجر به افزایش مواد جامد محلول و افزایش نسبت مواد جامد محلول به اسید قابل تیتر می‌شود. همچنین ایجاد رنگ قرمز پررنگ‌تر در پوست میوه و رسیدن زودتر میوه را به دنبال دارد (Perez *et al.*, 2007 and 2010).

برنامه‌ریزی آبیاری برای مدیریت کم‌آبیاری

در استفاده از کم‌آبیاری به عنوان یک ابزار مدیریتی، زمان‌بندی و مقدار آبیاری از اهمیت بالایی برخوردار است. اندازه‌گیری تبخیر و تعرق واقعی و یا محاسبه آن با استفاده از آمار هواشناسی می‌تواند جهت جایگزینی آب خاک به وسیله آبیاری انجام گیرد. برای اطمینان از اینکه کم‌آبیاری موجب بروز درجه‌ای از کم‌آبی شده است، کنترل وضعیت آب گیاه و یا خاک ضروری است. پارامترهای مختلفی به عنوان شاخص وضعیت آبی گیاه به کار می‌روند که از آن جمله می‌توان به محتوای پتانسیل آب در برگ، محتوای نسبی آب برگ، دمای تاج گیاه، شاخص تنش آبی گیاه، فلورسانس کلروفیل برگ، پتانسیل آب آوندهای چوبی، پتانسیل آب ساقه، ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای، تغییرات قطر ساقه و سرعت صعود شیره خام اشاره نمود (Behboudian and Mills, 1997). پتانسیل آب در برگ یا ساقه به عنوان شاخص‌های تعیین وضعیت آب گیاه کاربرد بیشتری دارند زیرا از جمله شاخص‌هایی هستند که سریعاً به کم‌آبیاری واکنش نشان می‌دهند (Fulton *et al.*, 2011; Goldhamer *et al.*, 2001; Ruiz-Sanchez *et al.*, 1997; Ruiz-Sanchez *et al.*, 2007).

تأثیر آبیاری محدود تا حد زیادی بستگی به زمان اعمال آن دارد، زیرا بیشتر فرایندهایی که در گیاه اتفاق می‌افتد دارای سیکل‌های فصلی، دوره‌ای و یا هر دو صورت می‌باشند. درختان خزان‌دار در حدود نه ماه از سال را فعال بوده و در طول ماه‌های زمستان به خواب می‌روند. در این مدت مصرف آب در

گیاه به حداقل می‌رسد، با این وجود رشد ریشه‌ها در زمستان نیز ادامه می‌یابد (Karmer and Boyer, 1995). بسیاری از مطالعات انجام شده در خصوص اثرات کم آبیاری در طی مراحل مختلف فنولوژیکی در دوره رشد و نمو درختان میوه انجام شده است. تحقیقات در خصوص عکس العمل درختان میوه به کم آبیاری نشان داده است که بعضی از مراحل فنولوژی رشد و نمو درختان میوه حساسیت بیشتری به تنش آبی دارند که دوره‌های بحرانی نیاز آبی می‌باشند (Behboudian and Mills, 1997). اطلاع از واکنش درختان میوه به کم آبی در طی مراحل فنولوژی رشد و نمو اهمیت زیادی دارد، بنابراین در ادامه با توجه به تفکیک و شناسایی مراحل رویشی و رشد میوه در طی مراحل فنولوژی رشد و نمو تعدادی از گونه‌های درختان میوه، راه کارهایی در جهت مدیریت آبیاری در طی فصل رشد در شرایط کم آبی ارائه شده است..

کم آبیاری در اوایل فصل رشد (دوره گل‌دهی و تشکیل میوه)

کم آبیاری در دوره گل‌دهی لقاح را کاهش می‌دهد. در همین ارتباط پاول (Powell, 1974) گزارش نمود در صورت بروز کم آبی در دوره گل‌دهی درختان سیب، تشکیل میوه کاهش و ریزش میوه‌های جوان افزایش می‌یابد. در صورتی که کم آبیاری پس از پایان دوره گل‌دهی و تشکیل میوه اعمال گردد، نه تنها اثر سویی بر عملکرد درختان تحت این تیمار ندارد، بلکه به میزان قابل توجهی در مصرف آب صرفه جویی خواهد شد (Behboudian and Mills, 1997). باز شدن جوانه‌ها (جوانه‌های گل و برگ)، گل‌دهی، تشکیل میوه و رشد سریع شاخه‌ها در اوایل بهار انجام می‌گیرد. در طول مراحل رشد سریع گیاه است که کم آبیاری بیشترین تأثیر را بر ظاهر گیاه خواهد داشت. تشکیل شاخه‌ها برای تولید محل‌های تشکیل میوه سال بعد به خصوص در درختان میوه‌ای مثل هلو که تشکیل میوه روی شاخه یک‌ساله می‌باشد، ضروری است. همچنین در اوایل فصل رشد، تقاضای زیادی برای جذب کربوهیدرات به وسیله میوه‌های در حال رشد و نمو وجود دارد و از طرفی رشد و توسعه سطح برگ برای انجام فتوسنتز لازم می‌باشد. بنابراین مراحل اولیه تشکیل و رشد میوه به تنش آبی حساس است و در این مرحله درختان میوه نباید تحت تأثیر تنش آبی شدید قرار گیرند. با این وجود از آنجایی که به دلیل خنک بودن هوا میزان تبخیر و تعرق در اوایل فصل پایین است، بنابراین نیاز آبی درختان میوه در این زمان بالا نیست و از طرفی در اوایل فصل رشد احتمال وجود بارندگی نیز وجود دارد که در چنین شرایطی (پایین بودن میزان تبخیر و تعرق و وجود بارندگی) می‌توان با مدیریت کم آبیاری در مصرف آب آبیاری صرفه جویی کرد، اما این کاهش آبیاری نباید به گونه‌ای باشد که تنش آبی به درختان وارد شود. کم آبیاری ابتدای فصل که در مرحله رشد سریع شاخه و رشد کند میوه اعمال می‌گردد، روشی ثابت شده در مدیریت آبیاری می‌باشد (موسوی و همکاران ۱۳۸۸; Behboudian et al., 1997; Behboudian and Mills, 1997; Micke, 1996; 2011). وقتی کسری آب در مراحل اولیه رشد میوه اتفاق بیفتد، رشد میوه در مقایسه

با درختان کامل آبیاری شده کاهش پیدا نمی‌کند. در مراحل بعدی رشد میوه نیز اگر درخت به اندازه صد درصد تبخیر و تعرق واقعی آبیاری شود، مقدار رشد افزایش پیدا می‌کند. امکان استفاده از کم-آبیاری ابتدای فصل در کنترل رشد رویشی و ذخیره آب در درختان سیب طی مطالعه‌ای توسط ابل و همکاران (Ebel et al., 1995) روی رقم رداسپور دلشیز در منطقه‌ای نیمه‌خشک واقع در واشنگتن بررسی شده است نشان داد که کم‌آبیاری با آبیاری قطره‌ای موجب حفظ آب به میزان ۲۳۰ میلی‌متر نسبت به آبیاری قطره‌ای شاهد و به میزان ۱۰۵ میلی‌متر در مقایسه کم‌آبیاری بارانی نسبت به آبیاری جوی و پشته شاهد شدند. روش‌های مختلف آبیاری شامل تیمارهای شاهد با آبیاری جوی و پشته‌ای، شاهد با آبیاری قطره‌ای، کم‌آبیاری با آبیاری بارانی و کم‌آبیاری با آبیاری قطره‌ای انتخاب شدند.

در پژوهشی کارایی کم‌آبیاری ابتدای فصل روی گلابی طی پنج سال در ویکتوریای استرالیا بررسی شد و نتایج نشان داد که کم‌آبیاری موجب صرفه‌جویی دو مگا لیتر آب در هکتار در سال شد و عملکرد نیز در دو تیمار تنش آبی (۲۳ و ۴۶ درصد نیاز آبی) در مقایسه با تیمار ۹۲ درصد نیاز آبی، افزایش یافت. همچنین تعداد میوه نیز در تیمارهای کم‌آبیاری (۲۳ و ۴۶ درصد) در هر پنج سال بیشتر بود اما رشد رویشی شاخ و برگ کاهش نشان داد. کاهش وزن چوب حاصل از هرس زمستانه به صورت خطی با میزان آبیاری در هر سال همبستگی مثبت داشت. کم‌آبیاری موجب کاهش میزان وزن چوب حاصل از هرس شده و شدت این واکنش به میزان تبخیر در دوره رشد سریع شاخه‌ها بستگی دارد (Marsal et al., 2002). کاسپاری و همکاران (Caspari et al., 1994) گزارش کردند درختان گلابی آسیایی رقم هوشی^۱ تحت کم‌آبیاری ابتدای فصل ۲۰ درصد آب کمتری مصرف می‌کنند. کم‌آبیاری در این زمان به دلیل کاهش رشد طولی شاخه‌ها، منجر به کاهش میزان هرس زمستانه شد اما از لحاظ اندازه نهایی میوه‌ها و عملکرد در بین تیمارهای آبیاری کامل و کم‌آبیاری تفاوتی وجود نداشت. در همین ارتباط، تیمارهای کم‌آبیاری، راندمان عملکرد (عملکرد در سطح مقطع عرضی تنه) را افزایش این موضوع در زرد آلو (Ruiz Sanchez et al., 2000) گزارش شده است.

کم‌آبیاری در مرحله رشد و نمو میوه

در مراحل نمو میوه، مرحله آب‌گیری میوه بسیار حساس به کم‌آبیاری است، در صورتیکه مرحله تجمع مواد خشک در میوه نسبتاً غیر حساس به کم‌آبیاری است (Girona et al., 2004). به عنوان یک قاعده کلی بایستی از تنش آبی در طی مرحله رشد سریع میوه جلوگیری شود، اما در برخی درختان میوه که دارای منحنی رشد سیگموئید دوگانه می‌باشند (شکل ۱)، مثل درختان میوه هسته‌دار از جمله هلو، گیلان، آلو، شلیل و زردآلو می‌توان در مرحله دوم رشد میوه که هم‌زمان با دوره سخت شدن هسته و کاهش سرعت رشد میوه‌هاست با اعمال مدیریت کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی کرد و این

¹Housi Asian Pear

آب را برای استفاده در مرحله رشد سریع میوه (مرحله سوم) که به تنش آبی حساس است، به کار برد (Razouk *et al.*, 2013). کمبود آب در مراحل نهایی رشد میوه منجر به کاهش قطر میوه می‌شود و اثرات زیان‌بخشی در تولید دارد. این دوره به کم‌آبیاری حساس است. (Torrecillas *et al.*, 2000; Girona *et al.*, 2004).

کم‌آبیاری در انتهای مرحله رشد میوه

این نوع مدیریت مربوط به کم‌آبیاری در مراحل انتهایی رشد میوه و قبل از برداشت است. کم‌آبیاری در پایان دوره رشد میوه موجب کاهش رشد شاخه و یا سطح برگ نگردید، ولی اندازه درخت را با کاهش رشد قطری تنه در سبب رقم برابر^۱ و گلابی آسیایی هوشی^۲ محدود کرد (Caspariet *et al.*, 1994). قطع کامل آبیاری در پایان دوره رسیدن میوه طی مطالعه‌ای روی آلوی فرانسوی در کالیفرنیا توسط گلدهامر و همکاران (Goldhamer *et al.*, 1994) به مدت چهار سال بررسی شد. تیمارهای مورد بررسی شامل قطع آبیاری به مدت ۱۲ و ۴۵ روز قبل از برداشت بود. عملکرد در تیمار قطع آبیاری ۱۲ روز قبل از برداشت در مقایسه با ۴۵ روز قبل از برداشت افزایش بیشتری داشت (Goldhamer *et al.*, 1994). کم‌آبیاری انتهای فصل نیز در برخی ارقام درختان میوه خزان‌کننده امکان‌پذیر است، اما به دلیل احتمال کاهش عملکرد میوه باید با احتیاط به کار رود (Behboudian and Mills, 1997).

کم‌آبیاری در مرحله پس از برداشت میوه

درختان میوه به طور معمول در مرحله بعد از برداشت به تنش آبی تحمل دارند و با اعمال مدیریت صحیح می‌توان مصرف آب را در این مرحله در بسیاری از گونه‌های درختان میوه کاهش داد، ولی هرگز نبایستی آبیاری در این مرحله قطع شود. درختان میوه بعد از برداشت باید آبیاری شوند. به شرطی می‌توان میزان آبیاری را کاهش داد که ریزش برگ‌ها خیلی شدید نباشد. برخی از درختان میوه هسته‌دار مثل درختان زردآلو و بادام در مرحله بعد از برداشت نسبت به تنش آبی حساس هستند، زیرا تشکیل جوانه‌های گل برای سال بعد در این مرحله انجام می‌شود، بنابراین برای جلوگیری از کاهش عملکرد سال بعد انجام آبیاری ضروری است. کاهش تراکم گل‌دهی و تشکیل ضعیف میوه در اثر کم‌آبیاری و تنش کم آبی در دوره پس از برداشت محصول در سال قبلی، در درختان بادام (موسوی و همکاران ۱۳۸۸; Goldhamer *et al.*, 2000; Ruiz-Sanchez *et al.*, 1998)، زردآلو (Ruiz-Sanchez *et al.*, 1999)، هلو (Girona *et al.*, 2003) و گلابی (Marsal *et al.*, 2002; Cheng *et al.*, 2012) گزارش شده است.

¹Braeburn

²Housi Asian Pear

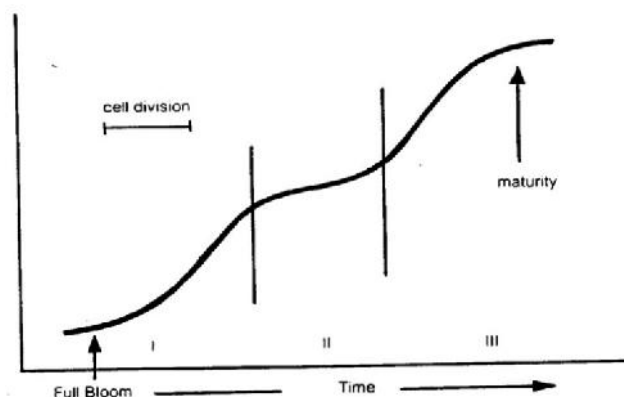
در بیشتر درختان میوه خزان‌دار به ویژه ارقام زودرس، رشد قابل ملاحظه‌ای از درخت بعد از برداشت محصول صورت می‌گیرد. کم‌آبیاری پس از برداشت رشد قطری تنه را بیشتر از رشد طولی تحت تأثیر قرار می‌دهد، زیرا رشد شاخه‌ها عمدتاً در بهار و بعد از برداشت صورت می‌گیرد. کم‌آبی پس از برداشت در مورد برخی ارقام هلوی با تعداد گل اندک ممکن است مفید واقع شده و تا حدودی نیز در کنترل اندازه درخت موثر باشد. همچنین موجب افزایش مقاومت درخت به سرمای زمستانه می‌شود که این کار را با کاهش رشد گیاه در انتهای فصل انجام می‌دهد (Behboudian and Mills, 1997).

مدیریت کم آبیاری در تعدادی از گونه‌های درختان میوه

کم آبیاری یا آبیاری درختان میوه با مقدار کمتر از ۱۰۰ درصد نیاز آبی (۱۰۰ درصد میزان تبخیر و تعرق واقعی) در شرایط کم آبی باعث بروز مشکلاتی در خصوصیات کمی و کیفی میوه و سلامت درختان خواهد شد. با این وجود تحقیقات نشان داده است که برخی از مراحل رشد در مقایسه با سایر مراحل حساسیت کمتری به تنش آبی دارد، بنابراین در این مراحل می‌توان آبیاری را کاهش داد، بدون آنکه خسارت زیادی به درخت و میوه آن وارد شود، ولی این کاهش به نوع رقم، بافت و عمق خاک، شرایط اقلیمی و سیستم آبیاری بستگی دارد (Behboudian and Mills, 1997). همانطور که در مدیریت کم آبیاری در طی فصل رشد اشاره شد، کم آبیاری در گونه‌های مختلف درختان میوه از نظر مدیریتی، متفاوت بوده و تاثیرات مختلفی را بر روی خصوصیات کمی و کیفی درخت و محصول آن خواهد گذاشت. با توجه به اهمیت موضوع، در ذیل در ارتباط با مدیریت آبیاری تعدادی از درختان میوه نظیر درختان هسته دار و دانه دار، بادام، گردو، زیتون و انگور به طور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد.

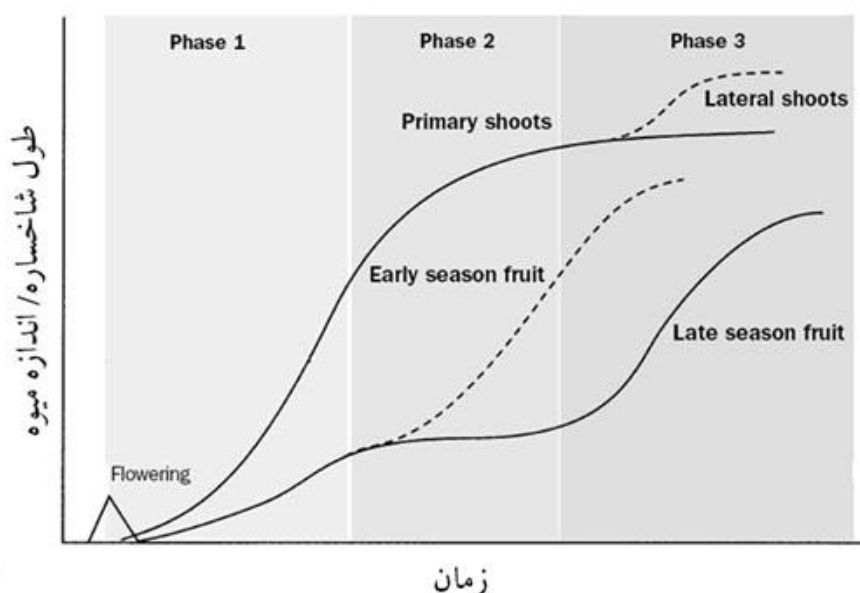
مدیریت کم آبیاری در درختان میوه هسته‌دار

درختان میوه هسته‌دار دارای سه مرحله رشد می‌باشد. مرحله اول که مرحله تقسیم سلولی است. در این مرحله رشد میوه سریع می‌باشد. مرحله دوم که مرحله سخت شدن هسته است رشد میوه کند می‌شود. مرحله سوم که مرحله افزایش حجم میوه بوده و مرحله بزرگ و آبدار شدن آن می‌باشد (شکل ۱). این درختان در مراحل رشد سریع میوه (مرحله اول و مرحله سوم) به تنش آبی بسیار حساس می‌باشند و در این مرحله نیاز به آبیاری کامل دارند. رشد میوه در مرحله اول حاصل تقسیم سلولی سریع و طولی شدن سلولی با سرعتی کمتر از تقسیم شدن سلول است. رشد میوه در مرحله سوم در اثر طولی شدن سلول‌های موجود است. مرحله دوم رشد میوه کند است و میوه برای جذب مواد غذایی با شاخه‌ها و برگ‌ها رقابت نمی‌کند. در این زمان شاخه‌ها به سرعت رشد می‌کنند و گسترش تاج به حداکثر خود می‌رسد. مرحله دوم رشد میوه فرصتی را فراهم می‌کند تا بتوان قدرت رشد درخت را با آبیاری محدود بدون آسیب به رشد میوه کاهش داد. این کارفایده دیگری نیز دارد و کم آبیاری، تاج درخت را کوچک‌تر می‌کند و تاج کوچک‌تر منجر به افزایش نفوذ نور شده و جوانه‌های میوه‌ده برای سال بعد افزایش می‌یابند (Mitchell et al., 1989). بنابراین در درختان میوه هسته‌دار با توجه به زمان رسیدن میوه، کم آبیاری در دو مرحله شامل مرحله دوم رشد میوه (مرحله سخت شدن هسته) و نیز در دوره پس از برداشت انجام می‌شود. در دوره رشد سریع میوه (مرحله اول) و مرحله بزرگ و آبدار شدن آن (مرحله سوم رشد میوه) که دوره بحرانی به تنش آبیاری است باید آبیاری به طور کامل و براساس نیاز آبی انجام شود (Ruiz-Sanchez et al., 2010; Razouk et al., 2013).



شکل ۱- منحنی رشد دوگانه در درختان میوه هسته‌دار (هلو، شلیل، آلبالو، گیلان، زردآلو، آلو و گوجه)

به گزارش زاپاتا و همکاران (Zapata et al., 2013) کسب موفقیت در مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شده در درختان هسته‌دار بستگی به مراحل فنولوژیکی رشد، زمان رسیدن میوه (زودرس، متوسط‌رس یا دیررس بودن)، شرایط اقلیمی، نوع سیستم آبیاری و نوع خاک (بافت و عمق خاک) دارد. ایشان کم‌آبیاری تنظیم شده را یکی از راه‌کارهای مهم برای کاهش مصرف آب و افزایش بهره‌وری آبیاری در درختان میوه هسته‌دار دانستند. در شکل ۲ مراحل رشد میوه در درختان میوه هسته‌دار به تفکیک زودرس یا دیررس بودن میوه نشان داده شده است.



شکل ۲- مراحل رشد میوه و شاخساره در درختان میوه هسته‌دار با منحنی رشد سیگموئید دو گانه به تفکیک زودرس یا دیررس بودن میوه

مدیریت کم آبیاری برای درختان هلو و شلیل

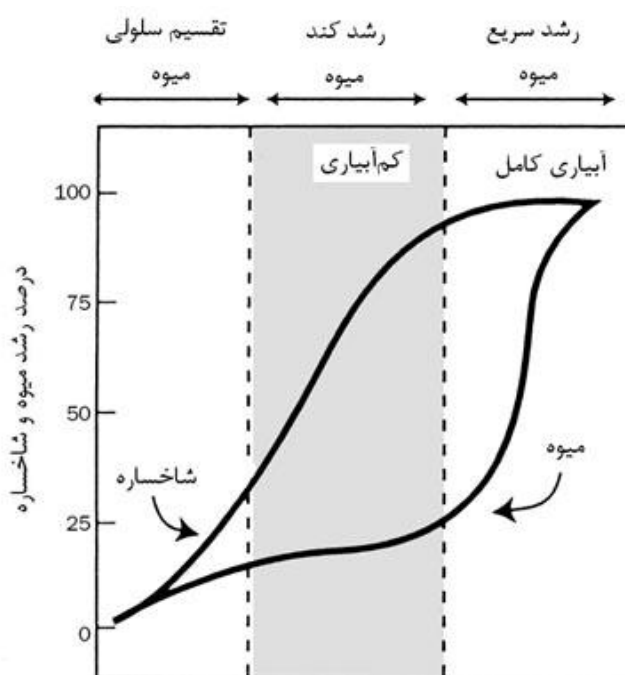
کم آبیاری تنظیم شده در درختان هلو به طور موفقیت آمیزی می تواند به کار رود. نتایج تحقیق انجام شده نشان داد که کم آبیاری به میزان ۳۵ درصد تبخیر و تعرق در مرحله دوم رشد میوه (مرحله سخت شدن هسته) در ارقام دیررس و یا در زمان پس از برداشت در ارقام زودرس، بدون اینکه در میزان محصول و اندازه نهایی میوه و یا تشکیل گل و میوه در سال بعد، تأثیر معنی داری داشته باشد، باعث ذخیره آب تا بیش از ۲۲ درصد در خاک های کم عمق و تا ۳۵ درصد در خاک های عمیق می شود. با این وجود، کم آبیاری در یک دوره سه ساله با کاهش اندازه درخت بر محصول اثرگذار خواهد بود. محدود کردن آبیاری پس از برداشت در ارقام زودرس، باید به دقت مدیریت شود تا از کاهش تشکیل گل و میوه در سال بعد اجتناب گردد. همچنین تنک میوه نیز باید مورد توجه قرار گیرد (Girona et al., 2003 and 2005b). ارقام هلوبی که برای مصارف صنعتی در نظر گرفته می شوند را می توان تحت شرایط کم آبیاری تنظیم شده مدیریت کرد. به این منظور در مرحله دوم و سوم رشد میوه به ترتیب به میزان ۴۰ و ۷۰ درصد گیاهان شاهد آبیاری انجام می شود. این روش آبیاری اثری بر کیفیت میوه نخواهد داشت و حتی منجر به افزایش محتوای قند میوه نیز می شود (Rufat et al., 2009). در آزمایش دیگری وقتی روش کم آبیاری تنظیم شده در مرحله دوم رشد میوه هلو رقم بیبی گلد^۱، به میزان ۲۵ درصد کاهش در میزان مصرف آب آبیاری انجام شد. این درحالی بود که اختلافی بین این گیاهان با گیاهان شاهد در محصول نهایی دیده نشد (Ruiz- Sanchez et al., 2010).

کم آبیاری تنظیم شده در پرورش هلو زودرس فلورداستار^۲ بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی (آبیاری کامل) تا مرحله سوم رشد میوه و کم آبیاری تنظیم شده به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی (کاهش ۷۵ درصد آبیاری) بعد از برداشت محصول تا انتهای فصل رشد، در کاهش تولید محصول فصل بعد اختلاف معنی داری با شرایط آبیاری کامل ایجاد نکرد اما اعمال کم آبیاری تنظیم شده به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی در کلیه مراحل رشد میوه به استثنای مرحله سوم رشد (اعمال ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در مقایسه با آبیاری کامل در تمام مراحل رشد میوه منجر به کاهش عملکرد در درختان بالغ گردید (Ruiz- Sanchez et al., 2010). کم آبیاری شدید در دوره پس از برداشت، رشد رویشی و محصول درخت هلو بالغ را محدود کرد. میوه های تحت مدیریت کم آبیاری تنظیم شده ویتامین سی و کارتنوئیدهای کمتری داشتند، درحالی که مقدار فنولیک ها به ویژه آنتوسیانین ها و پروسیانیدین ها افزایش یافت (Buendia et al., 2008).

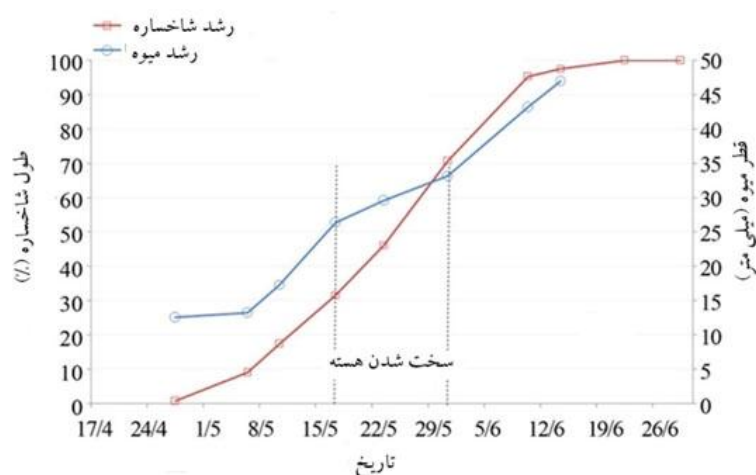
¹Babygold

²Flordastar

در پرورش درختان هلو رقمفلورداستار مقایسه‌ای بین کم‌آبیاری تنظیم شده و کم‌آبیاری با مقدار ثابتی آب انجام شد. در این دو تیمار اختلاف معنی‌داری در میزان محصول دیده نشد و محصول هر دو تیمار کمتر از محصول گیاهان شاهد بود (Tapia et al., 2009). کم‌آبیاری تنظیم شده نسبت به کم‌آبیاری با مقدار ثابتی آب در تمام فصل رشد کاهش کمتری را در رشد میوه به وجود آورد (Abrisqueta et al., 2008). منحنی‌های رشد شاخساره و میوه هلو در شکل ۳ و ۴ آمده است.



شکل ۳- منحنی رشد میوه و شاخساره در هلو (Goodwin and Boland., 2002)



شکل ۴- منحنی‌های رشد شاخساره و میوه هلو در شرایط آبیاری کامل (Razouk et al., 2013)

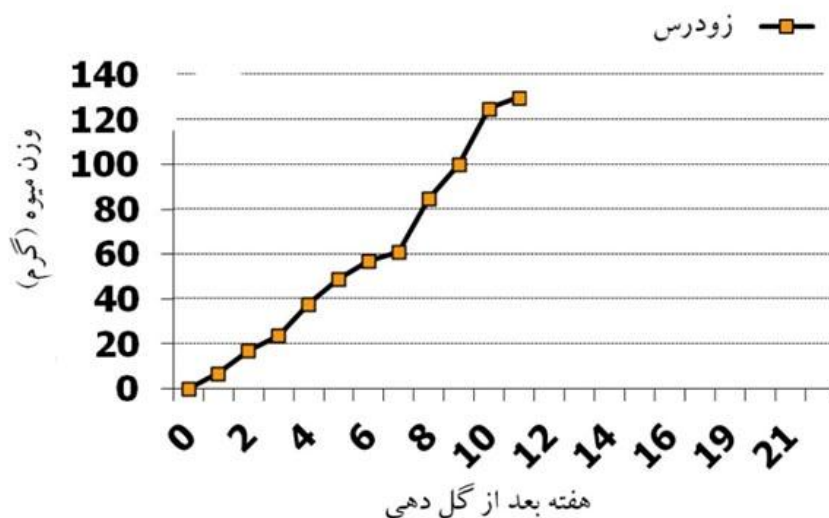
زمان رسیدن میوه‌های هسته‌دار با توجه به گونه و رقم از اوایل خرداد تا اوایل مهر متغیر می‌باشد. بطور مثال، ارقامی از هلو که در خرداد ماه تا اوایل تیر ماه می‌رسند که جزء ارقام زودرس محسوب می‌شوند و ارقامی که در اواخر مرداد ماه و شهریور ماه برداشت می‌شوند جزء ارقام دیررس محسوب می‌شوند.

ارقام زودرس هلو

مرحله سخت شدن هسته (مرحله دوم رشد میوه) در ارقام زودرس دوره کوتاهی است، بنابراین در این ارقام کم‌آبیاری در این مرحله امکان‌پذیر نمی‌باشد و نبایستی تا قبل از برداشت میوه تنش آبی به درختان وارد شود، زیرا باعث کاهش اندازه و کیفیت میوه خواهد شد، ولی بعد از برداشت می‌توان در مصرف آب با اعمال کم‌آبیاری صرفه‌جویی نمود (Johnson et al., 1992).

در ارقام زودرس، رشد قابل ملاحظه‌ای از درخت بعد از برداشت محصول صورت می‌گیرد. کم‌آبی در این زمان نیاز به هرس را در هلو کاهش و تراکم گل برای سال آینده را افزایش داد، اما تعداد میوه‌های دوقلو نیز افزایش یافت (Johnson et al., 1992). کم‌آبیاری پس از برداشت در مورد ارقام زودرسی به کار می‌رود که فصل رشد پس از برداشت محصول آنها بیش از ۱۲۰ روز طول بکشد زیرا ممکن است در کاهش رشد رویشی و نهایتاً کاهش هزینه هرس در گونه‌هایی نظیر هلوی زودرس و گیلان که به رشد خود بعد از برداشت میوه ادامه می‌دهند، مؤثر باشد (Behboudian and Mills, 1997). شکل ۵ منحنی رشد میوه هلو در ارقام زودرس را نشان می‌دهد.

وقتی درختان هلوی زودرس در خاک‌های عمیق و تحت شرایط آبیاری سطحی (غرقابی)، در زمان پس از برداشت (اواخر خرداد تا اوایل مهر) در شرایط تنش آبی قرار گرفتند توانستند این شرایط را تحمل کنند و رشد و عملکرد مناسبی را طی چهار سال متوالی نشان دادند. در بعضی موارد ریزش برگ، آفتاب‌سوختگی شاخه‌ها، صمغ‌زدگی و افزایش خسارت کنه‌ها مشاهده شد (Schwankl, 2015; Girona et al., 2005b; Larson et al., 1998). در صورت در دسترس بودن آب آبیاری، بهترین استراتژی این است که بعد از برداشت محصول با کاهش ۴۰ تا ۸۰ درصد نیاز آبی گیاه تا آخر فصل در مصرف آب صرفه‌جویی شود (Schwankl, 2015; Ruiz-Sanchez et al., 2010; Johnson et al., 1994).



شکل ۵- منحنی رشد میوه هلو در رقم زودرسفلورداستار

برای جلوگیری از تنش شدید آبی به گیاهان، اندازه‌گیری پتانسیل آبی گیاه با دستگاه پمپ فشار روش مناسبی است. پتانسیل آب گیاه (در تنه) بایستی بالای ۲۰- بار قرار گیرد. تنش آبی و نوسانات آبیاری یا آبیاری نامنظم (آبیاری زیاد بعد از بروز یک دوره تنش کم آبی) منجر به بروز عارضه فیزیولوژیکی شکاف میوه^۱ و شکاف هسته^۲ خواهد (شکل ۶ و ۷). تفاوت زیادی بین ارقام از نظر بروز این اختلال فیزیولوژیک وجود دارد. بطوری که ناهنجاری فیزیولوژیک شکسته شدن در ارقام زودرس بیشتر از ارقام میان رس و دیرس اتفاق می افتد. شکاف هسته در ارقام زودرس هلو بیشتر اتفاق می افتد و این عارضه در اثر تنش آبی در مرحله سخت شدن هسته^۳ و به دنبال آن آبیاری زیاد، منجر به رشد زیاد و بزرگ شدن سلولها در مرحله رشد سریع میوه (مرحله سوم) شده و شکاف میوه و شکسته شدن هسته اتفاق می افتد. (Handley and Scott, 2000). همچنین تنش های آبی و گرما در اواخر تابستان اگر با زمان توسعه جوانه گل برای فصل بعد همزمان باشد، منجر به بروز نقص فیزیولوژیکی از جمله دوقلویمیوه^۴ (شکل ۸) خواهد شد. (Schwankl, 2015; Johnson *et al.*, 1992) در حال شکل گیری هستند، بنابراین در شرایط کم آبی، کاهش آبیاری از اواسط مرداد تا اواسط شهریور نبایستی شدید باشد. در صورتی که می توان کم آبیاری بیشتری را در اواخر خرداد تا اواخر تیر ماه در این ارقام اعمال نمود (Handley and Scott, 2000; Johnson *et al.*, 1994).

¹Deep suture

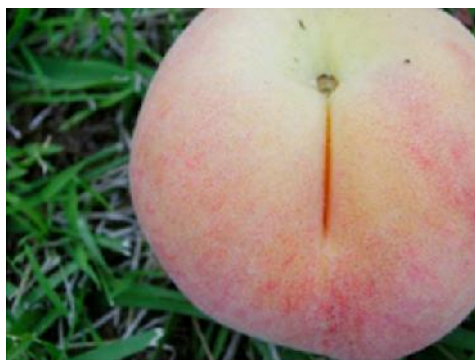
²Split pit

³Pit hardening

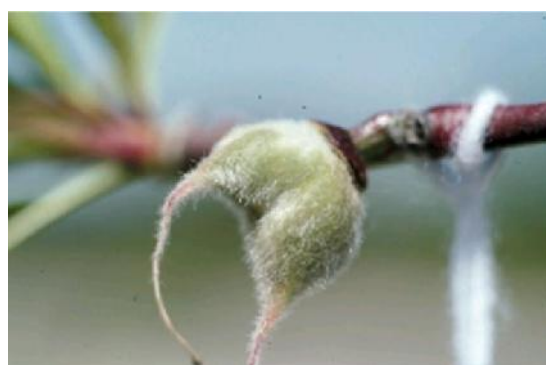
⁴Double or twin fruit



شکل ۶- اثر تنش آبیدر زمان توسعه جوانه گلبر شکاف میوه شلیل



شکل ۷- اثر تنش آبیدر زمان توسعه جوانه گلبر شکاف میوه هلو



شکل ۸- اثر تنش آبیو گرما در زمان توسعه جوانه گلبر دوقلویی میوه در هلو

در ارقام هلوی زودرس مرحله دوم خیلی کوتاه است، بنابراین رشد سریع میوه تا زمان برداشت ادامه دارد. در این ارقام امکان اعمال مدیریت کم آبیاری در این مرحله وجود ندارد و کم آبیاری بایستی بعد از

برداشت محصول اعمال گردد، بنابراین در ارقام زودرس انجام آبیاری کامل از زمان تشکیل میوه تا زمان برداشت ضروری است، اما در دوره بعد از برداشت محصول به جز زمان گل‌انگیزی و تشکیل جوانه‌های گل در نیمه دوم مرداد تا اوایل شهریور با مدیریت صحیح می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Schwankl, 2015; Mitchel *et al.*, 1982).

در خاک‌های عمیق و در شرایط آبیاری غرقابی، بعد از برداشت محصول با اعمال مدیریت کم‌آبیاری می‌توان بین ۴۰ تا ۸۰ درصد نیاز آبی درختان هلو را برطرف کرد. در شرایطی که آب در دسترس بیشتر است اعمال کم‌آبیاری تا ۸۰ درصد نیاز آبی و در شرایطی خشک‌تر اعمال کم‌آبیاری تا میزان ۴۰ درصد نیاز آبی توصیه می‌شود، ولی در خاک‌های سبک و در شرایط آبیاری قطره‌ای اعمال تنش آبی بایستی کمتر باشد و آبیاری درختان هلو زودرس با ۵۰ تا ۶۰ درصد نیاز آبی آنها در شرایط کم‌آبی قابل توصیه است (Schwankl, 2015; Girona *et al.*, 2003; Larson *et al.*, 1998).

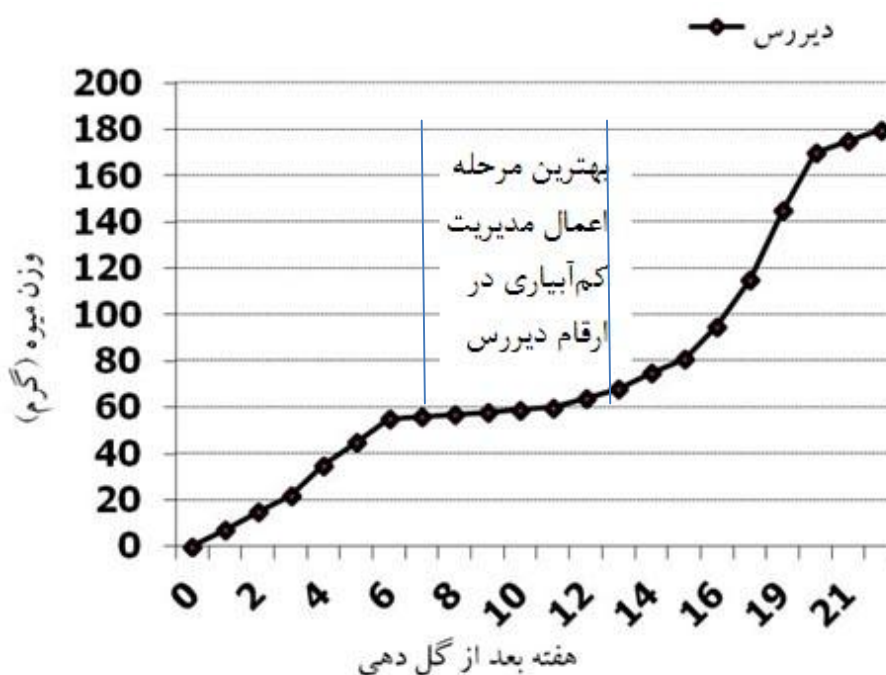
ارقام دیررس هلو

در ارقام دیررس، آبیاری بعد از برداشت را می‌توان بدون بروز مشکل فیزیولوژیک در میوه‌های سال بعد کاهش زیادی داد یا حتی قطع نمود. معمولاً عوارض فیزیولوژیکی شکاف در میوه (شکل ۶ و ۷) و دوقلوئی میوه (شکل ۸) در درختانی که بعد از برداشت تحت شرایط کم‌آبی قرار داشتند در فصل بعد دیده نشد. در شرایط تنش شدید کم‌آبی ممکن است مجبور به کاهش آبیاری در شرایط قبل از برداشت بود که کاهش اندازه میوه را در پی دارد (Johnson *et al.*, 1994). اگر چه ممکن است مواد جامد محلول در اثر تنش بیشتر شود، ولی تنش خشکی اندازه میوه را کاهش خواهد داد (Crisosto *et al.*, 1994). تحقیقات نشان داده است که مرحله سوم رشد میوه حساسیت بیشتری به کاهش کم‌آبی در مقایسه با مرحله دوم دارد، بنابراین برای کاهش اثرات کم‌آبی در ارقام دیررس بایستی کم‌آبیاری در مرحله دوم رشد میوه صورت گیرد و در مرحله سوم، ۶-۴ هفته قبل از برداشت بایستی آبیاری کامل انجام شود (کرمی، ۱۳۷۶؛ Girona *et al.*, 1993). شکل ۹ منحنی رشد میوه هلو در ارقام دیررس هلو را نشان می‌دهد.

در ارقام دیررس می‌توان در مرحله دوم رشد میوه (مرحله سخت شدن هسته) که حدود ۵-۴ هفته بعد از تشکیل میوه است و حساسیت به تنش آبی در این دوره کمتر است، با اعمال مدیریت کم‌آبیاری در حدود ۴۰ تا ۶۰٪ نیاز آبی در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Schwankl, 2015; Girona *et al.*, 1993). همچنین در دوره پس از برداشت محصول می‌توان با مدیریت صحیح کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. مرحله بعد از برداشت در ارقام دیررس که همزمان با تشکیل و تکامل جوانه‌های گل است، حساسیت بیشتری به تنش آبی در مقایسه با ارقام زودرس دارد و بهتر است که در این مرحله حدود ۷۰ تا ۸۰٪ نیاز آبی درختان در ارقام دیررس تامین شود (Larson *et al.*, 1998). ارقام هسته چسبیده هلو اگر در اواخر مرحله اول و یا اوایل مرحله دوم (سخت شدن هسته) دچار تنش شدید آبی

شوند و پس از آن آبیاری کامل انجام شود، احتمال شکسته شدن هسته^۱ در زمان برداشت محصول وجود دارد. خرد شدن هسته یک عارضه فیزیولوژیکی است، بنابراین در این ارقام نباید تنش شدید اعمال شود (Ruiz- Sanchez et al., 2010; Johnson et al., 1994).

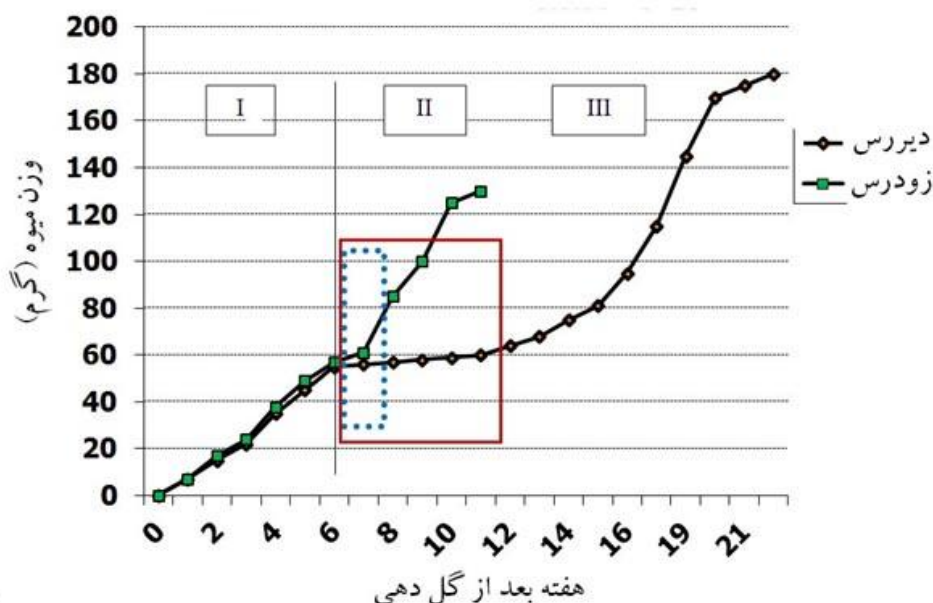
رحمتی و همکاران (۱۳۹۳) تاثیر تنش کم آبی را بر روی درختان هلوی رقم آلبرتا در شرایط اقلیمی مشهد بررسی نمودند. نتایج نشان داد تنش ملایم در مقایسه با تنش متوسط و شدید، رویشی شاخه در درختان هلوی رقم البرتا را کمتر تحت تاثیر قرار داد. از اینرو اعمال تنش ملایم علاوه بر کاهش رشد رویشی در مقایسه با درختان شاهد، رشد زایشی را با تولید شاخه هایی با رشد مناسب برای میوه دهی تحریک می نماید.



شکل ۹- منحنی رشد میوه هلوی در ارقام دیررس هلوی

مقایسه منحنی رشد میوه در ارقام زودرس و دیررس هلوی و تفاوت در طول دوره مرحله دوم رشد میوه (دو هفته در ارقام زودرس) و (شش هفته در ارقام دیررس) در شکل ۱۰ آمده است.

¹Split Pit



شکل ۱۰- مقایسه منحنی رشد میوه در ارقام زودرسو دیررس هلو و تفاوت در طول دوره مرحله دوم رشد میوه (دو هفته در ارقام زودرس) و (شش هفته در ارقام دیررس)

مدیریت کم آبیاری در درختان زردآلو

در درختان زردآلو می‌توان تنش آبی را در اواسط رشد میوه (مرحله دوم) اعمال نمود. در ابتدای رشد میوه (مرحله اول) و در طی مرحله رشد سریع میوه (مرحله سوم) انجام آبیاری کامل ضروری است (Torrecillas *et al.*, 2000). تنش شدید آبی در مرحله بعد از برداشت محصول منجر به ریزش جوانه‌ها و نیز کاهش گل‌دهی و عملکرد سال بعد می‌شود، بنابراین در باغ‌های زردآلو نباید تنش شدید آبی و شرایط خشکی بعد از برداشت اعمال شود (Ruiz- Sanchez *et al.*, 1999).

در پژوهشی پاسخ درختان زردآلو رقم بولیدا^۱ به کم آبیاری تنظیم شده در چهار فصل رشد مورد مطالعه قرار گرفت. بافت خاک لومی و سیستم آبیاری قطره‌ای بود. کم آبیاری تنظیم شده به صورت آبیاری کامل در دوره بحرانی (دوره رشد سریع میوه و دو ماه پس از برداشت) انجام شد. آبیاری در سایر زمان‌ها به میزان ۲۵ و ۴۰ درصد میزان تبخیر و تعرق انجام گرفت. کم آبیاری شدیدتر (۲۵ درصد تبخیر و تعرق) منجر به کاهش محصول در طی دو فصل رشد شد در حالیکه در درختان تحت کم آبیاری به میزان ۴۰ درصد تبخیر و تعرق، میزان محصول و کیفیت آن مشابه درختان شاهد (۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق در تمام طول فصل رشد) بود (Perez- Sarmiento *et al.*, 2009; Ruiz-Sanchez *et al.*, 2000).

¹Bulida

کم آبیاری به میزان ۴۰ درصد (۴۰ درصد تبخیر و تعرق) از زمان گلدهی تا پایان مرحله اول رشد میوه و به میزان ۲۵ و ۵۰ درصد میزان تبخیر و تعرق ۶۰ روز بعد از برداشت تا زمان خزان برگ‌ها در مقایسه با آبیاری کامل در درختان زردآلو انجام شد و با اعمال کم‌آبیاری، به میزان ۳۹ درصد در مصرف آب صرفه جویی گردید (Perez- Sarmiento *et al.*, 2010). در زردآلو کم‌آبیاری تنظیم شده را می‌توان به عنوان یک روش عملی برای کشت زردآلو در نواحی که منابع آب دچار محدودیت است، به کار برد، اما کم‌آبیاری ثابت در سراسر فصل رشد میزان تولید و رشد رویشی را محدود کرد. در ارقام زردآلو به دلیل زودرس بودن محصول، مرحله دوم خیلی کوتاه است، بنابراین رشد سریع میوه تا زمان برداشت ادامه دارد. مدیریت کم‌آبیاری بایستی بعد از برداشت محصول به صورت تنظیم شده اعمال گردد، بنابراین در ارقام زودرس انجام آبیاری کامل از زمان تشکیل میوه تا زمان برداشت ضروری است، اما در دوره بعد از برداشت محصول به جز زمان گل‌انگیزی و تشکیل جوانه‌های گل در نیمه دوم مرداد تا اوایل شهریور با مدیریت صحیح می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Perez Pastoret *et al.*, 2009).

مدیریت کم‌آبیاری در درختان گیلان و آلبالو

درختان گیلان و آلبالو به دلیل زودرس بودن محصول رشد سریع میوه تا زمان برداشت ادامه دارد و مرحله دوم رشد میوه (سخت شدن هسته) خیلی کوتاه است و امکان اعمال مدیریت کم‌آبیاری در این مرحله وجود ندارد، بنابراین در ارقام گیلان و آلبالو بایستی از زمان تشکیل میوه تا قبل از برداشت محصول آبیاری به صورت کامل انجام شود، اما در مرحله بعد از برداشت به جز زمان تشکیل جوانه‌های گل (در اوایل مرداد ماه) می‌توان با مدیریت صحیح کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Antunez Barria, 2006; Candogan and Yazgan, 2010). در شکل ۱۱ الگوی رشد میوه گیلان و آلبالو آمده است.

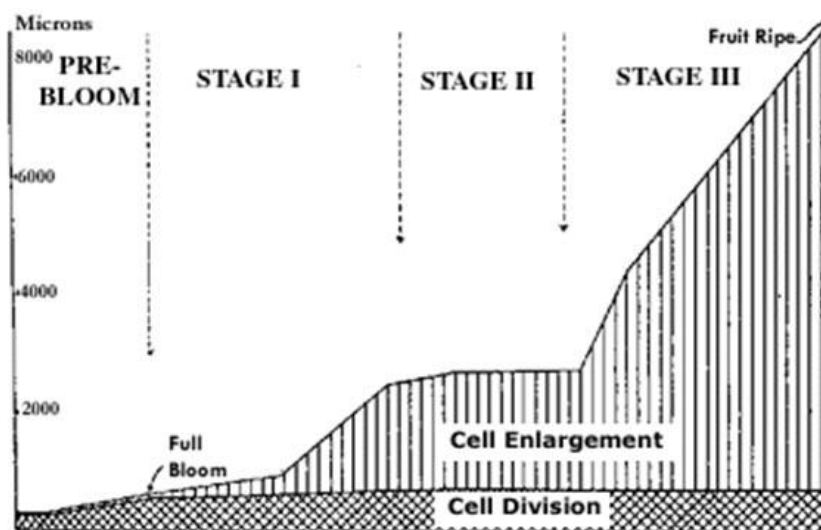
کم‌آبیاری پس از برداشت در مورد ارقام زودرسی به کار می‌رود که فصل رشد پس از برداشت محصول آنها ۹۰ تا ۱۲۰ روز طول بکشد، زیرا ممکن است در کاهش رشد رویشی و نهایتاً کاهش هزینه هرس در گونه‌هایی نظیر هلوی زودرس و گیلان که به رشد رویشی خود بعد از برداشت میوه ادامه می‌دهند، مؤثر باشد (Behboudian and Mills, 1997; Marsal *et al.*, 2010; Marsal *et al.*, 2009; Papenfuss and Black, 2010). آنتونز باریا (Antunez Barria, 2006) گزارش نمود که درختان گیلان تحمل متوسطی به تنش آبی در مرحله دوم و بعد از برداشت دارند. مارشال و همکاران (Marsal *et al.*, 2009) پیشنهاد کردند که می‌توان میزان آبیاری را در مرحله پس از برداشت گیلان تا ۵۰ درصد کاهش داد. تنش شدید آبی در گیلان رقم نیواستار^۱ در مرحله بعد از برداشت تأثیر منفی بر کیفیت محصول از نظر سفتی بافت و مواد جامد محلول در فصل رشد بعدی دارد. همچنین تنش آبی بر تشکیل میوه و میزان محصول تأثیر منفی دارد، بنابراین از تنش شدید آبی در مرحله بعد از برداشت بایستی خودداری

¹New Star

نمود (Marsal et al., 2009). به منظور ارزیابی تأثیر کم‌آبیاری بر عملکرد و کیفیت میوه سال بعد مارشال و همکاران (Marsal et al., 2010) تأثیر کم‌آبیاری تنظیم شده را در مرحله بعد از برداشت در گیلان رقم سامیت^۱ به مدت سه سال بررسی کردند. اگر چه کاهش آبیاری توانست روی تشکیل میوه سال بعد تأثیر داشته باشد، ولی از آنجایی که این تأثیر معنی‌دار نبود می‌توان در شرایط کم‌آبی با کاهش آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی درختان به میزان ۴۵ تا ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود، بنابراین ایشان در شرایط محدودیت منابع آب، مدیریت کم‌آبیاری در درختان گیلان را به میزان ۵۰ تا ۸۰ درصد نیاز آبی درختان توصیه کردند.

پاپنفوس و بلک (Papenfuss and Black, 2010) سطوح مختلف آبیاری از مرحله سخت شدن هسته (مرحله دوم) تا زمان برداشت (مرحله سوم) در آلبالو بررسی کردند و گزارش نمودند کم‌آبیاری در این مراحل مواد جامد محلول و رنگ میوه را افزایش داد. در پژوهش دیگری اثر رژیم‌های مختلف آبیاری بین ۳۰ تا ۱۰۰ درصد نیاز آبی درختان آلبالو رقم مونت‌مورنسی به مدت دو سال بررسی شد. نتایج نشان داد که کاهش آبیاری در مرحله سوم (از زمان بعد از سخت شدن هسته تا برداشت) روی اندازه و عملکرد میوه تأثیر منفی داشت، ولی خصوصیات کیفی میوه از جمله مواد جامد محلول را در مقایسه با شاهد افزایش داد. در این پژوهش گزارش شد که می‌توان کم‌آبیاری متوسط را (۶۰ درصد نیاز آبی) در دوره سخت شدن هسته به کار برد، ولی به علت اینکه این دوره کوتاه است بهتر است کم‌آبیاری به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب در مرحله بعد از برداشت محصول به میزان ۳۰ تا ۴۷ درصد نیاز آبی درخت انجام گیرد تا در مصرف آب به میزان ۳۸ تا ۵۰ درصد صرفه‌جویی شود (Papenfuss, 2010). در ارقامی که برای تازه‌خوری استفاده می‌شوند، عدم کاهش اندازه میوه مهم است، بنابراین باید از تنش آبدار مرحله اول و سوم اجتناب شود، ولی برای ارقامی که به منظور فرآوری استفاده می‌شوند، این حساسیت کمتر است (Papenfuss, 2010).

¹Summit



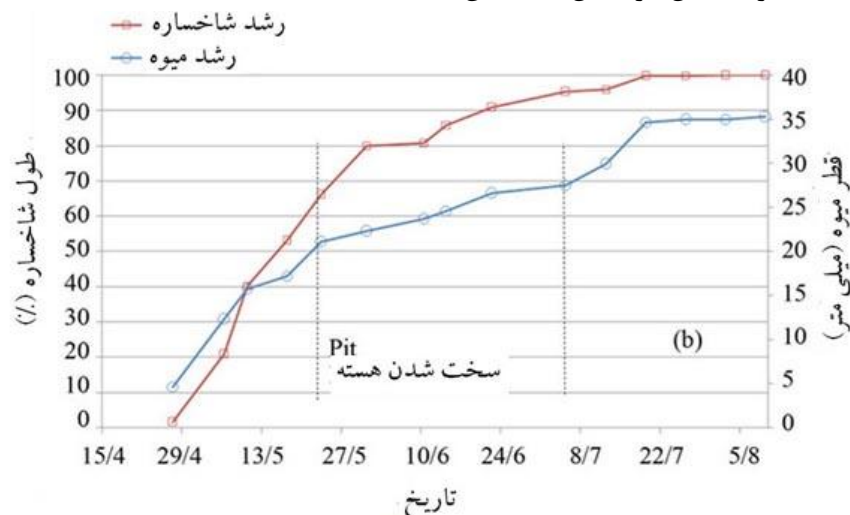
شکل ۱۱- الگوی رشد میوه گیلاس و آلبالو

مدیریت کم آبیاری در درختان آلو و گوجه

درختان گوجه بایستی در زمان شروع رشد سریع میوه (حدود اوایل خرداد) آبیاری کامل شوند، اما بعد از این مرحله درختان تحمل بیشتری به تنش آبی داشته و می توان با اعمال کم آبیاری تنش آبی کمی به درختان گوجه وارد نمود بدون آنکه تأثیر معنی داری در کاهش عملکرد، وزن و اندازه میوه و ریزش میوه داشته باشد. تنش شدید آبی در مرحله توسعه میوه و به دنبال آن آبیاری زیاد منجر به بروز ترکیدگی و شکاف میوه ها می شود. بعد از برداشت نیز می توان تنش آبی کمی به درختان وارد نمود و در مصرف آب صرفه جویی کرد، ولی تنش شدید منجر به ریزش برگ ها خواهد شد (Johnson et al., 1994). قطع کامل آبیاری در پایان دوره رسیدن میوه طی مطالعه ای روی آلو فرانسوی در کالیفرنیا توسط گلد هامر و همکاران (Goldhamer et al., 1994) به مدت چهار سال بررسی شد. نتایج نشان داد عملکرد در تیمار قطع آبیاری ۱۲ روز قبل از برداشت در مقایسه با ۴۵ روز قبل از برداشت افزایش بیشتری داشت (Goldhamer et al., 1994). پاسخ درختان آلو ژاپنی (*Prunus salicina*) رقم بلک گلد^۱ به کم آبیاری تنظیم شده به مدت چهار سال مورد مطالعه قرار گرفت (Intrigliolo and Castel, 2005). کم آبیاری به میزان ۳۳ درصد یا ۶۶ درصد تبخیر و تعرق در طول مراحل دوم و سوم رشد میوه و همچنین بعد از برداشت و یادر طول هر دو دوره با ۶۶ درصد از تبخیر و تعرق اعمال گردید. محدود کردن آب آبیاری در مدت رشد میوه میانگین وزن میوه را کاهش داد، در حالی که خشکی بعد از برداشت اثری روی گل دهی، تشکیل میوه، رشد میوه و میزان محصول در دوره کوتاه مدت نداشت، ولی در پایان سال- های آزمایش این درختان در مقایسه با درختان شاهد ۱۰ درصد کاهش محصول را نشان دادند که این در نتیجه اثر تجمعی کمبود آب بر رشد درخت بود. محدود کردن آبیاری در زمان پس از برداشت

¹Black gold

صرف نظر از اثرات سؤ آن در درازمدت، می‌تواند در باغ‌های تجاری که دچار کمبود آب آبیاری هستند، به عنوان ابزاری برای کنترل رشد رویشی به کار رود (Intrigliolo and Castel, 2005). رشد شاخساره و میوه در آلو تحت آبیاری کامل در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



شکل ۱۲- رشد شاخساره و میوه در آلو تحت شرایط آبیاری کامل (Razouk et al., 2013)

مدیریت کم آبیاری در درختان بادام

روش‌های مختلفی برای کاهش مصرف آب توسط پرورش‌دهندگان بادام وجود دارد. یک روش ساده برای کاهش مصرف آب، کاهش مدت زمان آبیاری و یا افزایش فواصل آبیاری است که از این طریق حجم آب مصرفی کاهش می‌یابد. بهترین نتیجه وقتی به دست می‌آید که کم آبیاری در طول فصل به طور یکنواخت اعمال گردد (Goldhamer et al., 2006). در درختان بادام به منظور تشکیل اندام‌های بارده و رشد کافی شاخ و برگ از یک سو و رشد میوه در اوایل فصل رشد از سوی دیگر انجام آبیاری کامل لازم می‌باشد (Goldhamer, 1996). تحقیقات زیادی نشان داده است که بادام یک محصول مقاوم به خشکی است و محصول بادام در طی مرحله قبل از برداشت که طی آن بیشتر تغییرات کیفی انجام می‌گیرد، تحت تأثیر کم آبیاری (تنش متوسط کم آبی) قرار نمی‌گیرد (Girona, Mousavi et al., 2015). با کاهش آبیاری به میزان ۵۰٪ نیاز آبی در این مرحله می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود بدون آنکه تأثیر معنی‌داری در عملکرد محصول داشته باشد، بطوری‌که کاهش آبیاری یا کم آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی از اوایل تیر ماه تا زمان برداشت می‌تواند در کاهش و صرفه‌جویی در مصرف آب اثرگذار باشد (Goldhamer et al., 2006). در یک تحقیق چهار ساله کم آبیاری قبل از برداشت، بعد از برداشت و در طول فصل رشد با نسبت‌های ۵۰ درصد، ۷۰ درصد و ۸۵ درصد در درختان بادام اعمال شد. نتایج نشان داد که اعمال تنش کم آبی در حدود ۸۵ درصد نیاز آبی گیاه در طول فصل هم اثرات

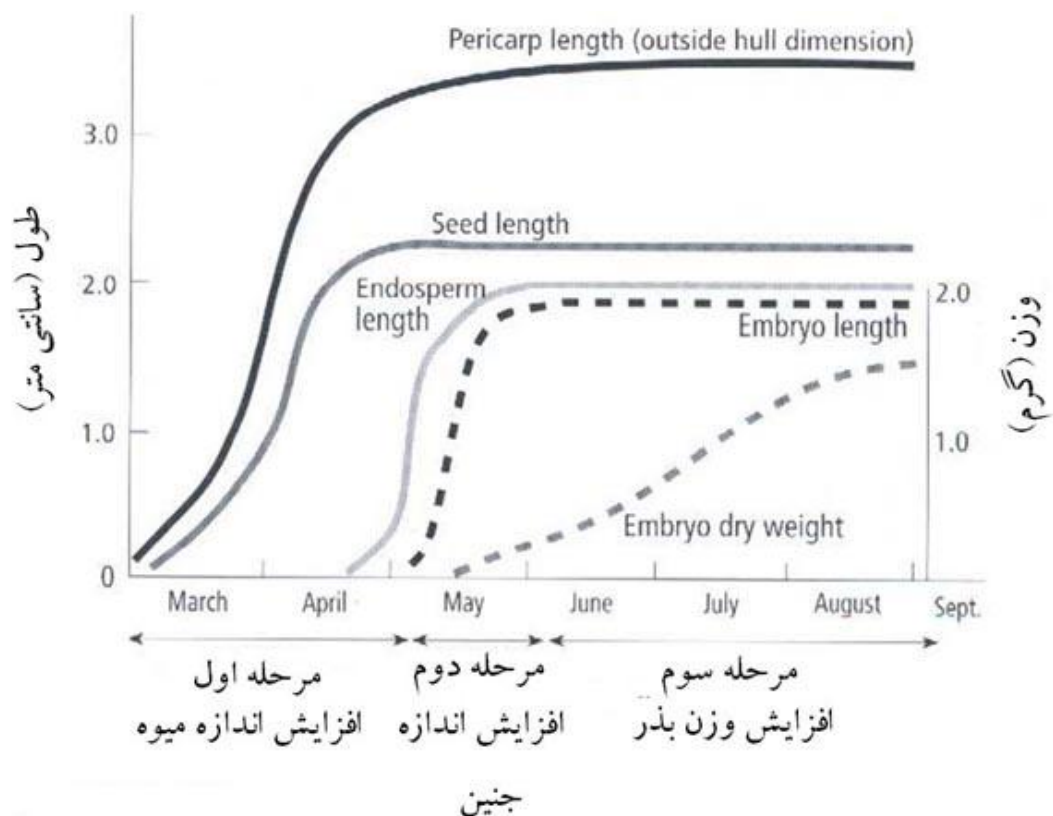
کمتری در رشد و نمو دارد و هم میزان ذخیره آب بیشتری در پی دارد. در شرایط کم آبی می توان درختان بادام را با ۸۵٪ نیاز آبی در طی فصل رشد آبیاری نمود و این راهکار بهتر از آن است که در یک مرحله تنش شدید کم آبی اعمال گردد. نتایج حاصل از اعمال این تیمار بسیار مطلوب تر از اعمال تنش شدیدتر در برخی از مراحل رشد بود (Goldhamer *et al.*, 2006).

اگر چه بادام در شرایط با محدودیت آبیاری سازگار است، اما وقتی تنش خشکی در مرحله رشد میوه (مرحله اول)، رشد مغز (مرحله دوم) و مرحله پس از برداشت اتفاق بیفتد، محصول آن به طور جدی تحت تأثیر قرار می گیرد (Goldhamer and Smith, 1995). میزان محصول به تنش خفیف و آبیاری متوسط در طول پر شدن مغز (مرحله چهارم رشد میوه) غیر حساس است (Mike; Goldhamer, 1996; 1996). فعالیت قوی سینک^۱ میوه در این دوره در مقایسه با سایر اندام های گیاه می تواند به بروز این رفتار منجر شود. به همین دلیل مرحله چهارم رشد میوه بادام به عنوان مناسب ترین دوره برای کاربرد کم آبیاری در نظر گرفته شده است. با این حال، با توجه به اینکه اندازه میوه قبل از برداشت تعیین می شود، اجتناب از تنش شدید در بادام ضروری به نظر می رسد (Goldhamer *et al.*, 2006).

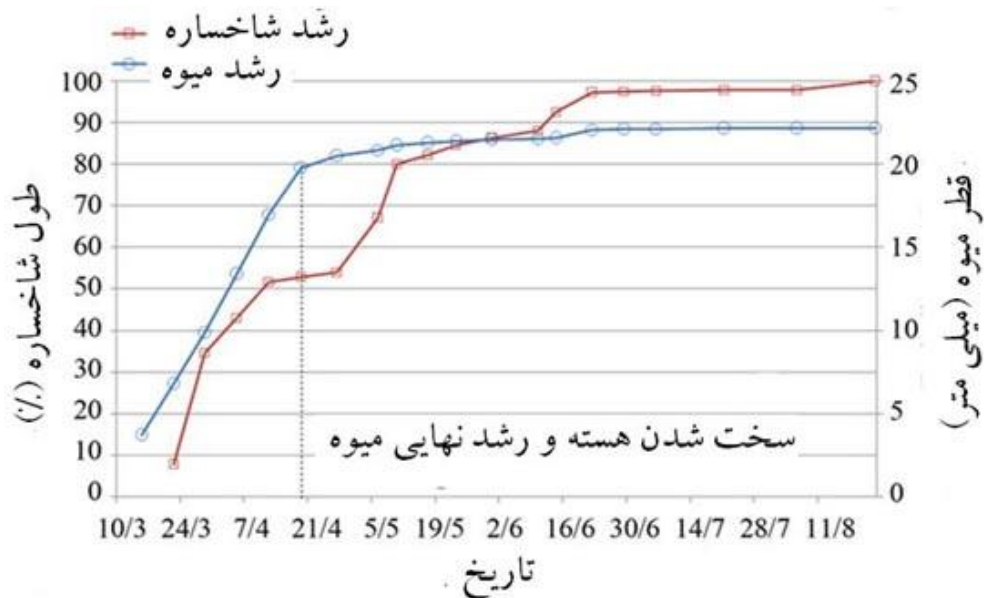
در ارقام زودرس تا میان رس بادام می توان با اعمال کم آبیاری برای مدت دو ماه قبل از برداشت (از اوایل تیر ماه) تا زمان برداشت (اوایل شهریور) با اعمال کم آبیاری تنش آبی به درختان وارد نمود، بدون آنکه در عملکرد تأثیر معنی داری حاصل شود (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Mousavi *et al.*, 2015). ارقام دیررس نیز یک دوره دو ماهه قبل از برداشت به تنش کم آبی تحمل دارند، ولی نایستی درختان تحت تنش شدید آبی قرار گیرند، زیرا منجر به چسبیدن پوست سبز به پوست چوبی و کاهش خندانی پوست سبز شده و در نتیجه باعث کاهش سهولت برداشت و پوست کنی میوه خواهد شد. محصول بادام همچنین در اثر تنش آبی پس از برداشت آسیب پذیر است، زیرا تمایز جوانه های گل در بادام در بعد از برداشت (اواخر مرداد تا اواخر شهریور) صورت می گیرد (Girona *et al.*, 2000; Goldhamer and Viveros, 2000; موسوی و همکاران، ۱۳۸۸).

منحنی مراحل رشد قسمت های مختلف میوه در درختان بادام و رشد شاخساره و میوه بادام در شرایط آبیاری کامل در شکل های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده است. همچنین در شکل ۱۵ منحنی رشد دوگانه هلو با منحنی رشد ساده بادام مقایسه شده است.

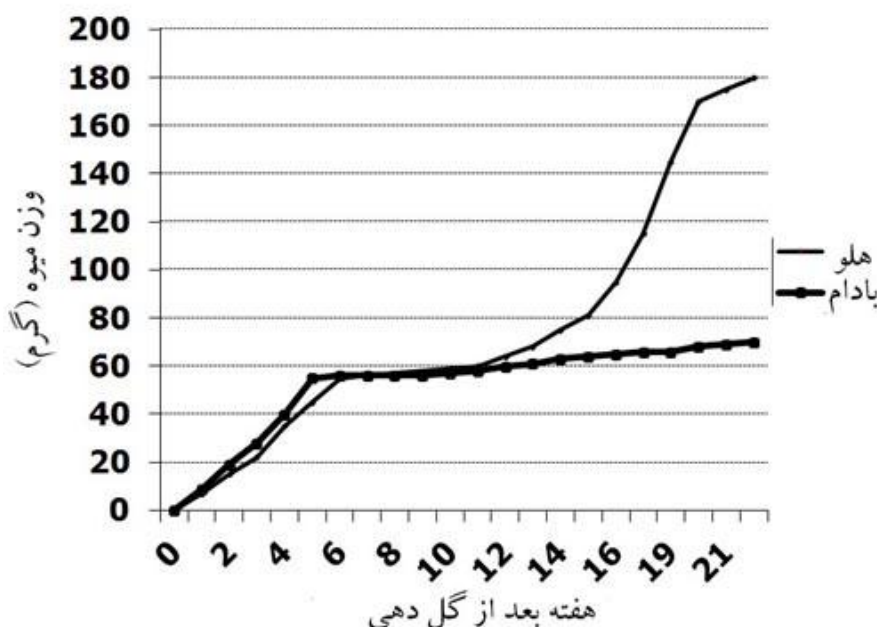
¹Sink



شکل ۱۳- منحنی مراحل رشد قسمت‌های مختلف میوه در درختان بادام



شکل ۱۴- رشد شاخساره و میوه بادام در شرایط آبیاری کامل (Razouk et al., 2013)



شکل ۱۵- مقایسه منحنی رشد هلو (منحنی دوگانه) و بادام (منحنی ساده)

در خاک‌های کم‌عمق و سبک و یا در شرایط آبیاری قطره‌ای مدیریت آبیاری در مرحله بعد از برداشت بسیار مهم است. کاهش آبیاری و تنش آبی شدید در مرحله بعد از برداشت منجر به کاهش گل‌دهی و کاهش تشکیل میوه در سال بعد خواهد شد. در این مرحله بایستی از تنش شدید آبی یا خشکی اجتناب کرد و درختان باید با حداقل ۵۰٪ نیاز آبی (۵۰٪ نسبت به حالت آبیاری کامل) آبیاری شوند تا از کاهش تشکیل گل و در نتیجه کاهش عملکرد سال بعد جلوگیری شود. بنابراین باید کم آبیاری بلافاصله بعد از برداشت محصول انجام شود. در خاک‌های عمیق با آبیاری غرقابی و یا بارانی بایستی آبیاری قبل از برداشت انجام شود. در این شرایط به علت ذخیره آب در خاک، حساسیت مرحله بعد از برداشت در مقایسه با خاک‌های کم‌عمق و آبیاری قطره‌ای کمتر است نسبت محصول بادام و در زمین خشک به زمین آبیاری شده یک به ده است که لزوم استفاده از آبیاری قطره‌ای در بادام را نشان می‌دهد (Ruiz- Sanchez *et al.*, 2010; Goldhamer *et al.*, 2006; Romero *et al.*, 2006; Micke, 1996; Egea *et al.*, 2010). کم آبیاری تنظیم شده در مرحله پر شدن مغز (دوره قبل از برداشت) طی چهار سال متوالی مورد بررسی قرار گرفت (Girona *et al.*, 2005a). در درختان شاهد، آبیاری در تمام فصل رشد به طور کامل انجام شد. در تیمار کم آبیاری در زمان پر شدن مغز (دوره قبل از برداشت) میزان آبیاری ۲۰ درصد درختان شاهد بود و در سایر زمان‌ها با مقادیر آب مشابه تیمار شاهد آبیاری شدند. در

تیمار کم آبیاری تجمع مواد خشک طی دو سال اول کاهش نیافت و این مؤید این مطلب بود که رشد میوه در زمان پر شدن مغز (دوره قبل از برداشت) به طور نسبی به تنش آبی مقاوم است. در سال سوم و چهارم آزمایش رشد مغز و میزان محصول کاهش یافت. به نظر می‌رسد تخلیه ذخایر کربوهیدرات در درختان تحت تنش و نیز تعادل منفی آب خاک در این کاهش محصول دخالت داشته باشد. با این حال، با اعمال کم آبیاری به میزان ۲۰ درصد نیاز آبی (۸۰ درصد کاهش آبیاری) در دوره قبل از برداشت (دوره افزایش وزن خشک و تغییرات کیفی مغز) منجر به ذخیره ۶۰ درصدی در مصرف آب شد درحالی‌که فقط ۲۰ درصد کاهش محصول مشاهده شد در واقع صرفه جویی ۶۰ درصدی تحت تاثیر کم آبیاری تنظیم شده در مقایسه با تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی تنها منجر به کاهش ۲۰ درصد در عملکرد بادام گردید. دلیل اهمیت استفاده از کم آبیاری در این مرحله، از جنبه اقتصادی و به دلیل ذخیره آب بود (Girona et al., 2005a). در تحقیق دیگری گزارش شده است که کم آبیاری به میزان ۲۰ درصد تبخیر و تعرق واقعی (کاهش ۸۰ درصد آبیاری) در طول دوره قبل از برداشت در مقایسه با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق واقعی)، به میزان ۲۶ درصد صرفه جویی در مصرف آب را به همراه داشت در حالی که عملکرد را تنها ۱۱ درصد کاهش داد (Romero et al., 2004).

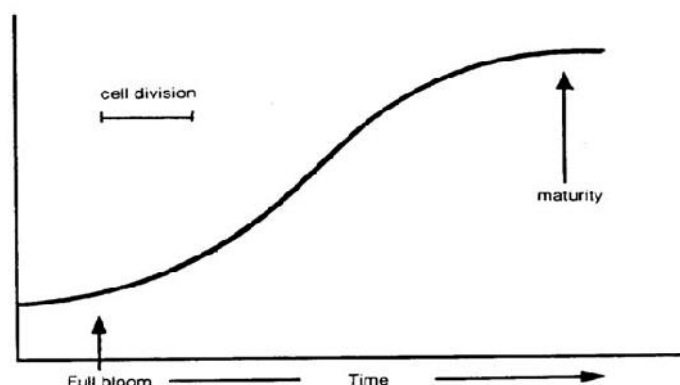
Egea و همکاران (Egea et al., 2010) اثرات دراز مدت کم آبیاری در شرایط نیمه خشک (منطقه مورسیای اسپانیا) را بر رشد، عملکرد و بهره‌وری آب در درختان بادام رقم مارتا مورد مطالعه قرار دادند. در این تحقیق، سه تیمار اعمال آبیاری موضعی خشکی ناحیه ریشه به میزان ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد تبخیر و تعرق واقعی (PRD₃₀، PRD₅₀ و PRD₇₀) و یک تیمار کم آبیاری تنظیم شده به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق واقعی (ETC₅₀/RDI₅₀) در دوره پر شدن مغز (دوره قبل از برداشت) و در طی سه فصل رشد متوالی در مقایسه با درختان شاهد با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد تبخیر و تعرق) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که کلیه تیمارهای کم آبیاری (تنش خشکی) به غیر از تیمار PRD₇₀ اثر منفی بر رشد تنه درختان داشتند. در تیمارهای کم آبیاری، وزن تک مغز به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد، اما با کاهش کاربرد آب، بهره‌وری آن افزایش یافت. به طوری که مقدار آب به کار رفته در PRD₃₀، ۲۸ درصد شاهد بود که در واقع ۱۲۳ درصد افزایش بهره‌وری در مصرف آب را به همراه داشت. عملکرد مشابهی را نشان دادند. تیمارهای تنش کم آبی شامل PRD₇₀ و کم آبیاری به میزان ۵۰ درصد تبخیر و تعرق که حجم سالانه آب مشابهی تحت دو شیوه متفاوت کم آبیاری (به عنوان مثال خشکی موضعی ۷۰ درصد ناحیه ریشه و کم آبیاری تنظیم شده ۵۰ درصد در طی پر شدن مغز) دریافت نموده بودند کارایی یکسانی نشان دادند. این نشان می‌دهد که شاید روش کم آبیاری به کار رفته عامل موثر در بهره‌وری آب در درختان بادام نباشد، بلکه در شرایط کمبود آب، توزیع کربوهیدرات‌ها و مواد حاصل از فتوسنتز در درخت بادام بیشتر صرف رشد میوه تا رشد رویشی می‌گردد. این خصوصیت باعث شده که درخت بادام مناسب برای کاربرد روش‌های کم آبیاری باشد (Egea et al., 2010).

در تحقیق دیگری برای مناطق خشک، روش آبیاری شامل آبیاری کامل در مراحل اول و دوم رشد میوه، ۳۰ درصد آبیاری کامل برای مرحله سوم رشد میوه (قبل از برداشت) که مصادف با پر شدن مغز است و ۷۰ درصد آبیاری کامل برای مرحله پس از برداشت توصیه شده است. اگرچه در این روش، تمایل به کاهش رشد رویشی دیده می‌شود و در دراز مدت می‌تواند بر کاهش تولید از طرق کاهش رشد و اندام های بارده، اثرگذار باشد، ولی بهره‌وری آب آبیاری در این مناطق خشک که با محدودیت منابع آب آبیاری روبرو است را افزایش می‌دهد (Ruiz- Sanchez *et al.*, 2010).

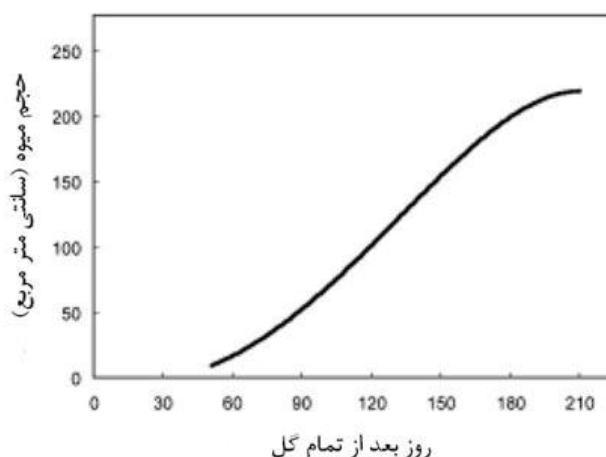
نتایج تحقیق توسط موسوی و همکاران (۱۳۸۸)، موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2015) و علی- محمدی و همکاران (۱۳۹۱) نشان داد که بایستی از اعمال تنش آبی در مراحل اول (مرحله رشد میوه) و دوم (مرحله رشد مغز) رشد میوه در بادام رقم مامایی که جز ارقام میان‌رس می‌باشد، خودداری نمود، زیرا هرگونه تنش آبی در این مراحل منجر به افزایش میزان ریزش میوه، کوچک شدن اندازه میوه، چروکیدگی و کاهش وزن خشک مغز و کاهش درصد مغز می‌گردد که در نهایت کاهش عملکرد را در پی خواهد داشت. بر اساس این نتایج کاهش آبیاری در مرحله سوم (دوره قبل از برداشت) رشد میوه که دوره تغییرات کیفی میوه است، حساسیت کمتری را به دنبال دارد. رقم مامایی در این مرحله حساسیت کمتری نسبت به تنش آبی داشت، لذا می‌توان با کاهش میزان آبیاری در این مرحله در مصرف آب صرفه‌جویی نمود، بدون آنکه روی رشد و عملکرد محصول اثر معنی‌داری را نشان دهد. در شرایط خشکسالی و محدودیت منابع آبی، می‌توان با اعمال کسر آبیاری به میزان ۸۰ درصد نیاز آبی بادام و یا در شرایط بحرانی به میزان ۴۰ درصد نیاز آبی بادام، اقدام به آبیاری باغ‌های بادام نمود تا در شرایط بحرانی ضمن کاهش اثرات شدید خشکسالی بر رشد و نمو گیاه، عملکرد قابل قبولی نیز در این شرایط به دست آید (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸؛ Mousavi *et al.*, 2015). با توجه به اینکه رقم مامایی از جمله ارقام میان‌رس محسوب می‌شود، بایستی پس از برداشت محصول آبیاری صورت گیرد، زیرا تنش آبی در این مرحله منجر به کاهش تراکم جوانه‌های گل و درصد گلدهی، افزایش تولید گل‌های ناقص، افزایش میزان ریزش گل و کاهش تشکیل میوه اولیه و نهایی در سال بعد خواهد شد (موسوی و همکاران، ۱۳۸۸).

مدیریت کم آبیاری در درختان میوه دانه دار

درختان میوه دانه دار (سیب، گلابی و به) دارای منحنی رشد ساده می باشند (شکل ۱۶). رشد درختان سیب تقریباً در تمام طول فصل رشد یکنواخت است. بزرگ شدن میوه برای دوره ۵۰ روز اول بعد از گل دهی بیشتر در نتیجه تقسیم سلولی و بعد از آن ناشی از بزرگ شدن سلول ها است (شکل ۱۷). تنش خشکی طولانی مدت در هر زمانی از فصل رشد ممکن است رشد میوه را به طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار دهد (Parker and Marini, 1994).



شکل ۱۶- منحنی رشد ساده در درختان میوه دانه دار (سیب، گلابی و به)



شکل ۱۷- منحنی رشد میوه سیب رقم 'پینک لیدی'^۱ (Goodwin and Boland., 2002)

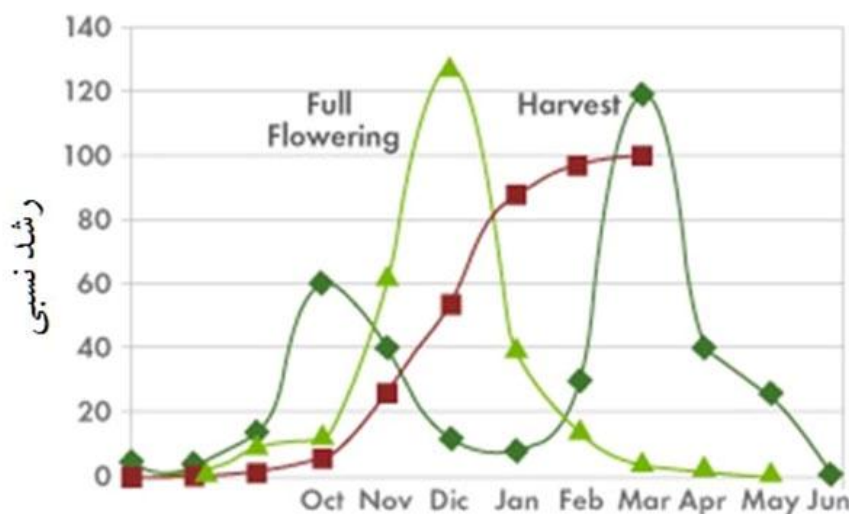
امکان استفاده از کم آبیاری ابتدای فصل در کنترل رشد رویشی و ذخیره آب در درختان سیب طی مطالعه ای توسط ابل و همکاران (Ebel et al., 1995) روی رقم رداسپور دلشیز در منطقه ای نیمه خشک واقع در واشنگتن بررسی شده است. روش های مختلف آبیاری شامل تیمارهای شاهد با آبیاری جوی و

^۱Pink Lady

پشته‌ای، شاهد با آبیاری قطره‌ای، کم‌آبیاری با آبیاری بارانی و کم‌آبیاری با آبیاری قطره‌ای انتخاب شدند. تیمارهای کم‌آبیاری، راندمان عملکرد (عملکرد در سطح مقطع عرضی تنه) را افزایش دادند. کم‌آبیاری با آبیاری قطره‌ای موجب حفظ آب به میزان ۲۳۰ میلی‌متر نسبت به آبیاری قطره‌ای شاهد و به میزان ۱۰۵ میلی‌متر در مقایسه کم‌آبیاری بارانی نسبت به آبیاری جوی و پشته شاهد شدند.

کم‌آبیاری تنظیم شده در مراحل آخر رشد میوه سیب به میزان ۵۰ درصد گیاهان شاهد و آبیاری کامل در سایر زمان‌ها در بقیه فصل رشد در یک دوره سه ساله بررسی شد (Girona et al., 2009). در یک دوره سه ساله کم‌آب‌دهی با اعمال کم‌آبیاری تنظیم شده تاثیری در کاهش اندازه میوه و عملکرد نداشت، در حالی که کم‌آبیاری ثابت در تمام طول سال به طور شدیدی اندازه میوه را کاهش داد. با این حال، در شرایط کم‌آبی، استفاده از کم‌آبیاری تنظیم شده بدون کاهش عملکرد میوه قابل قبول به نظر می‌رسد.

به طور کلی درختان سیب را کمتر در معرض کم‌آبیاری قرار می‌دهند، زیرا در هیچ یک از مراحل رشد، قدرت رشد شاخساره (رشد رویشی) به طور واضح با کاهش رشد میوه همراه نیست و رشد رویشی و رشد میوه همپوشانی دارد (Goodwin and Boland., 2002) (شکل ۱۸).



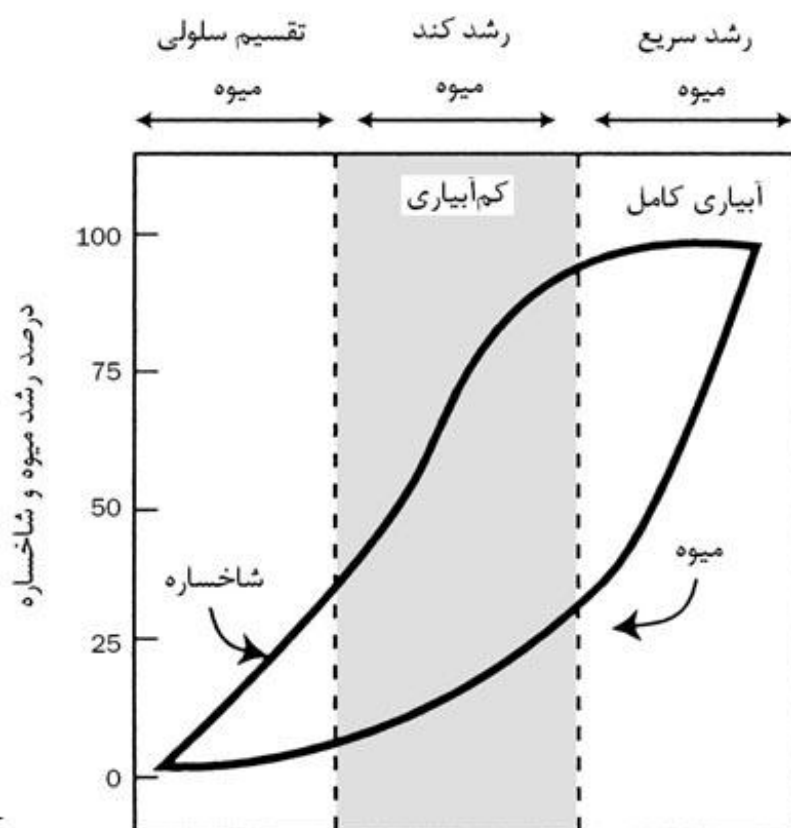
شکل ۱۸- مراحل مختلف فنولوژی رشد در درختان سیب (نیمکره جنوبی)

تاثیر کم‌آبیاری بر رشد رویشی، کمیت و کیفیت درختان ۱۰ ساله سیب رقم "گلدن دلشیز" در منطقه گهواره در استان کرمانشاه با شرایط اقلیمی معتدل توسط تاراجی و همکاران (۱۳۹۴) مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای کم‌آبیاری در این پژوهش شامل: کم‌آبیاری اولیه با دوسطح ۴۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی در طی دوره زمانی ۲۵ خرداد ماه روز تا ۲۵ مرداد ماه به مدت ۶۰ روز، کم‌آبیاری ثانویه با دوسطح ۴۰ درصد و ۶۰ درصد نیاز آبی در طی دوره زمانی ۲۵ مرداد ماه روز تا ۵ مهر ماه به مدت ۴۰ روز و تیمار شاهد (آبیاری کامل ۱۰۰ درصد نیاز آبی) در طول فصل رشد تا زمان برداشت انجام

گردید. نتایج نشان داد که صفات رویشی مانند سطح مقطع تنه تحت تاثیر تیمار کم آبیاری قرار نگرفت اما طول شاخه فصل جاری در مقایسه با شاهد کاهش معنی داری نشان داد. حجم و وزن میوه درختان تحت تیمارهای کم آبیاری به استثنای تیمار ۴۰ درصد ثانویه در مقایسه با درختان شاهد کاهش معنی داری نشان ندادند. عملکرد درختان تحت تیمار کم آبیاری ۶۰٪ اولیه و ثانویه نسبت به درختان شاهد کاهش معنی داری نشان ندادند. تنش کم آبیاری اثرات مثبتی بر خصوصیات کیفی میوه داشت به طوری که میزان قند کل و مواد جامد محلول کل میوه در درختان تحت تیمار کم آبیاری در مقایسه با شاهد افزایش نشان دادند. کم آبیاری منجر به کاهش ۴۱، ۲۷، ۱۸ و ۱۲ درصدی میزان آب مصرفی در تیمارهای ۴۰٪، ۶۰٪ اولیه و ۴۰٪، و ۶۰٪ ثانویه به ترتیب در مقایسه با شاهد گردید. به طور کلی کم آبیاری در درختان سیب رقم گلدن دلشز باعث افزایش کیفیت میوه گردید.

کم آبیاری تنظیم شده (۱۵ درصد نسبت به شاهد) بروی درختان گلابی کشت شده در گلدن، منجر به کاهش اندازه میوه در مقایسه با شرایط آبیاری کامل گردید. رشد میوه در درختان تحت تاثیر کم آبیاری تنظیم شده در مرحله اول رشد در شرایط گلدن و آبیاری مجدد در مرحله دوم رشد، علی رغم تنظیم اسمزی میوه و وضعیت بهتر آب در حالت کم آبیاری تنظیم شده در مقایسه با درختان شاهد با آبیاری کامل پایین بود (Marsal et al., 2000). پاسخ درختان بالغ گلابی به محدودیت آبیاری (کم آبیاری) مورد مطالعه قرار گرفت. کم آبیاری در مراحل اول و دوم رشد میوه با افزایش تعداد میوه و کاهش اندازه میوه بر تولید اثر داشت، در حالی که آبیاری بیش از حد (بیشتر از نیاز آبی) تعداد میوه را به میزان زیادی کاهش داد. درختان گلابی با آبیاری کامل (۱۰۰ درصد نیاز آبی) بزرگترین اندازه میوه و بیشترین رشد قطری تنه را داشتند (Marsal et al., 2002).

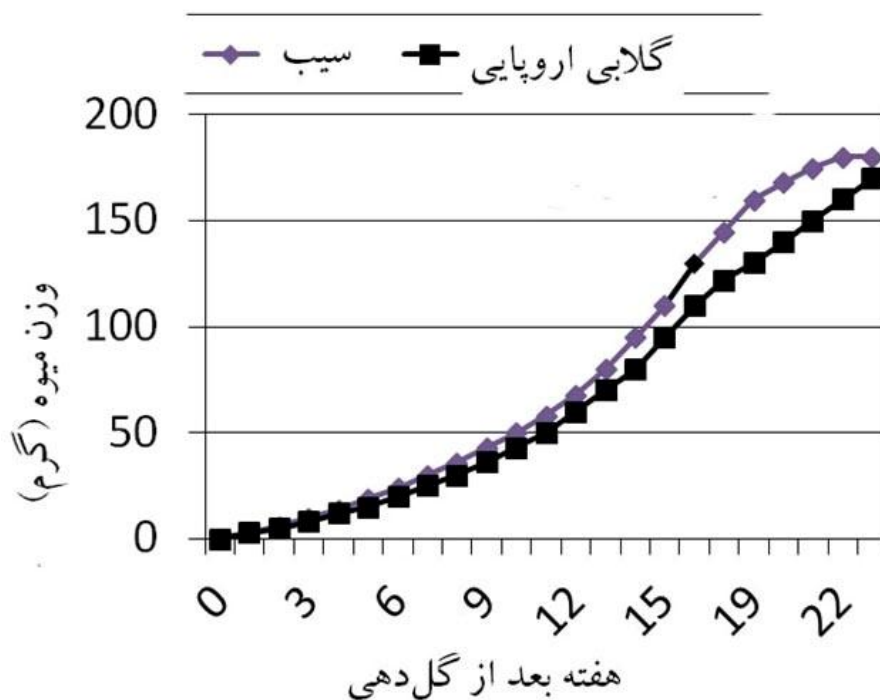
مارشال و همکاران (Marsal et al., 2002) در پژوهشی کارایی کم آبیاری ابتدای فصل روی گلابی طی پنج سال در ویکتوریای استرالیا بررسی شد. تیمارهای اعمال شده تأمین آبیاری بر اساس ۲۳، ۴۶ و ۹۲ درصد میزان تبخیر و تعرق از واحد سطح بود. آبیاری محدود موجب صرفه جویی دو مگا لیتر آب در هکتار در سال شد و عملکرد نیز در دو تیمار خشک تر (۲۳ و ۴۶ درصد) در مقایسه با تیمار ۹۲ درصد افزایش یافت. تعداد میوه نیز در تیمارهای ۲۳ و ۴۶ درصد در هر پنج سال بیشتر بود. وزن چوب حاصل از هرس زمستانه به صورت مثبت و خطی با میزان آبیاری در هر سال همبستگی مثبت داشت. کم آبیاری موجب کاهش میزان وزن چوب حاصل از هرس شده و شدت این واکنش به میزان تبخیر در دوره رشد سریع شاخه ها بستگی دارد. رشد میوه گلابی به صورت یک منحنی ساده (شکل ۱۹) است که با منحنی رشد میوه سیب (شکل ۱۸) کمی تفاوت دارد (شکل ۲۰). در زمانی که رشد میوه کندتر بوده و رشد شاخساره افزایش می یابد، می توان آبیاری را محدود نمود. کم آبیاری در این زمان اثر زیادی بر اندازه میوه ندارد، اما منجر به کاهش رشد رویشی می شود. نفوذ بهتر نور خورشید نیز گل انگیزی بیشتر و کاهش تعرق را به دنبال خواهد داشت.



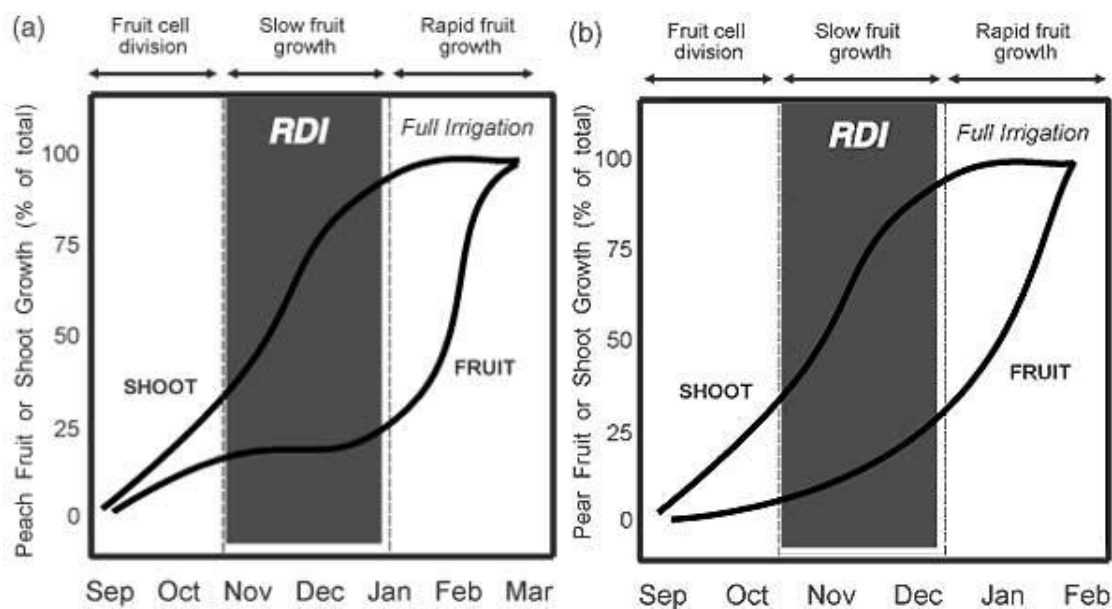
شکل ۱۹- منحنی رشد میوه و شاخساره در گلابی (Goodwin and Boland., 2002)

کاسپاری و همکاران (Caspari et al., 1994) در نیوزیلند که دارای محیطی مرطوب است روی گلابی آسیایی رقم هوشی^۱ نشان دادند که درختان تحت کم آبیاری ابتدای فصل ۲۰ درصد آب کمتری مصرف می کنند کم آبیاری رشد طولی شاخه ها و میزان هرس زمستانه را کاهش داد، ولی در میزان هرس سبز بین تیمارها تفاوتی وجود نداشت. همچنین رشد میوه ها تنها در هفته آخر اعمال تیمار کم آبیاری کاهش یافت، اما رشد میوه ها در هفته اول کم آبیاری و پس از تجدید آبیاری (آبیاری کامل) رشد میوه سریع تر از تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) بود. از لحاظ اندازه نهایی میوه ها و عملکرد در بین تیمارهای آبیاری تفاوتی وجود نداشت. مقایسه منحنی رشد میوه در درختان میوه دانه دار سیب و گلابی و مقایسه زمان اعمال کم آبیاری در درختان میوه دانه دار (گلابی) و هسته دار (هلو) در شکل های ۲۰ و ۲۱ آمده است. بنابراین اعمال کم آبیاری ملایم برای درختان دانه دار نظیر سیب و گلابی در طی مرحله ای که رشد کند میوه و رشد شاخه زیاد است قابل توصیه است.

¹Housi Asian Pear



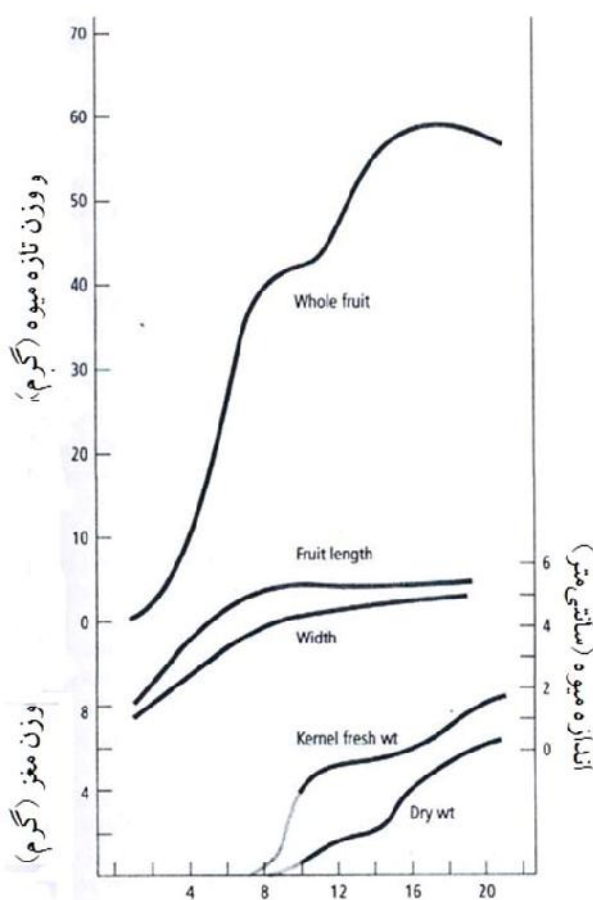
شکل ۲۰- مقایسه منحنی رشد در میوه در درختان میوه دانه‌دار سیب و گلابی



شکل ۲۱- زمان اعمال کم‌آبیاری در درختان میوه دانه‌دار (گلابی، شکل سمت راست) و هسته‌دار (هلو، شکل سمت چپ) (Goodwin and Boland., 2002)

مدیریت کم آبیاری در درختان گردو

آبیاری یکی از عوامل مؤثر در کیفیت و رنگ مغز گردو است (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷). در طول دوره رشد، درختان گردو مراحل مختلفی دارد (شکل ۲۲) که در طی این مراحل آبیاری نه تنها کمیت و کیفیت محصول سال جاری بلکه تولید کمی و کیفی محصول سال‌های بعد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷).



شکل ۲۲- منحنی مراحل رشد قسمت‌های مختلف میوه درختان گردو (Ramos, D.E. 1997)

شروع فصل و رشد میوه گردو

چند فرآیند رشد میوه و درخت به وسیله تنش خشکی در ابتدای فصل تحت تأثیر قرار می‌گیرد. رشد ریشه که در اواخر زمستان آغاز می‌شود در واقع اولین فرآیند رشدی درخت در شروع فصل رشد است. رشد ریشه به صورت سریع از دو هفته قبل از ظهور برگ‌ها شروع می‌شود و در زمان گلدهی به حداکثر خود می‌رسد. سپس رشد ریشه طی تابستان با کندی انجام می‌شود. بسته به رقم، محل و شرایط آب و هوا بیشتر ارقام تجاری و ژنوتیپ‌های گردو از اواسط فروردین تا اواسط اردیبهشت شروع به برگ‌دهی

می‌کنند. برگ‌دهی بلافاصله با ظهور گلها همراه است. پس از ظهور شاتون‌ها (گل‌های نر) و گل‌های ماده گرده‌افشانی انجام و تشکیل میوه صورت می‌گیرد. پس از پایان گلدهی و تشکیل میوه، رشد سریع میوه همزمان با رشد شاخ و برگ آغاز می‌شود. در اوایل تیر ماه میوه به اندازه نهایی خود رسیده است و بیشتر رشد شاخه‌های که به شاخه‌های بارده (سال بعد) تبدیل می‌شوند نیز صورت گرفته است (Ramos, 1997; Schwankl, 2015).

رشد و نمو درخت و میوه گردو در اواسط فصل رشد

از اواخر خرداد رشد مغز و پوست چوبی آغاز می‌شود. در ابتدا رشد و نمو پوست چوبی و سخت شدن آن اتفاق می‌افتد و سپس مغز پر می‌شود. از اواسط تا اواخر تیر ماه مغز شروع به افزایش وزن پیدا می‌کند و پر شدن مغز در شهریور تا وقتی میوه به صورت فیزیولوژیک می‌رسد (قهوه‌ای شدن بافت چوبی بین مغز) نیز ادامه می‌یابد. رنگ سفید و روشن بافت چوبی بین مغز بیانگر عدم رسیدگی میوه و افزایش وزن مغز می‌باشد اما قهوه‌ای این بافت شاخص رسیدگی میوه و عدم افزایش وزن مغز است. رشد شاخه در درختان جوان در تیر و شهریور در صورت آبیاری مناسب نیز ادامه می‌یابد. تشکیل جوانه گل روی شاخه‌های در حال رشد در تیر ماه انجام و در مرداد نیز در حال تکمیل است. تنش آبی طی این زمان (تیر و مرداد) علاوه بر کاهش عملکرد و کیفیت مغز در همان سال و محصول‌دهی سال بعد را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجایی که مصرف آب در این زمان در باغ‌های گردو نسبتاً زیاد است، به نظر می‌رسد صرفه جویی در مصرف آب در مراحل رشد و نمو رشد (شاخ و برگ و میوه) با اعمال کم‌آبیاری می‌تواند برای باغدار در زمانی که با کاهش میزان آب مواجه است مفید باشد و کمک بسیار زیادی به باغدار در مدیریت بهینه مصرف آب در شرایط کم آبی بنماید (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷، Ramos, 1997; Schwankl, 2015).

مرحله پایانی و رشد و نمو درخت و میوه گردو

در بیشتر ارقام تجاری شکاف پوست سبز بلافاصله بعد از رسیدگی فیزیولوژیک اتفاق می‌افتد و پر شدن مغز در شهریور متوقف می‌شود. در زمان شکاف پوست سبز آبیاری کافی درختان ضروری است تا پوست سبز به میوه نچسبد و مسئله کاهش کیفیت میوه (از قبیل سیاه شدگی و کاهش کیفیت مغز) پیش نیاید. وقتی محصول برداشت شد کربوهیدرات‌ها در ریشه ذخیره می‌شود تا درخت آماده زمستان‌گذرانی و جوانه‌زنی در سال بعد می‌شود. مرحله دوم رشد ریشه در مهر و آبان رخ می‌دهد که آبیاری تنظیم شده طی مهر و آبان ممکن است برای مقاوم شدن شاخه‌های یک‌ساله مفید باشد و مانع یخ‌زدگی آنها در برابر سرمای پاییزه و زمستانه شود اما اگر بیش از حد به درختان تنش خشکی وارد شود، درختان

سریعتر وارد مرحله خواب شده و سرمازدگی زمستانه تشدید می‌شود. در آخر فصل که با کوتاه شدن روزها و خنک شدن هوا مصادف است، مصرف آب در باغ شروع به کاهش پیدا می‌کند و موقعیتی را برای استفاده کمتر از آب و ذخیره سازی آن فراهم می‌کند (Ramos, 1997; Schwankl, 2015).

همانطور که بیان شد، دوره رشد میوه گردودارای مراحل مختلفی است و تنش آبی در این مراحل باعث کاهش کیفیت و کمیت میوه می‌گردد. حساس‌ترین مرحله به تنش آبی در گردو از زمان تشکیل میوه تا زمان پر شدن مغز می‌باشد. بعد از آن حساسیت به تنش خشکی کمتر می‌شود (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷). درختان گردو باید در طی فصل رشد بطور کامل آبیاری شوند. فقط دو تا سه هفته در پاییز (از زمان قبل از برداشت تا برداشت محصول) میزان آبیاری را می‌توان کاهش داد. دوره‌های بحرانی رشد میوه از نظر تنش آبی عبارتند از خرداد، تیر، مرداد و شهریور و تنش آبی در طی این مراحل اثرات متفاوتی روی کمیت و کیفیت میوه و مغز گردو گذاشته و باعث چروکیدگی مغز، کاهش درصد مغز و تولید میوه‌های با مغز تیره و کیفیت پایین می‌شود (Ramos, 1997; Schwankl, 2015). تنش آبی در اوایل مرحله رشد میوه (در فروردین تا اواخر اردیبهشت) منجر به کوچک شدن میوه خواهد شد، ولی کاهش آبیاری و تنش کم‌آبی در ماه‌های خرداد تا مرداد که هم‌زمان با رشد مغز میوه می‌باشد، اثرات متفاوتی در پی دارد. کم‌آب‌دهی در اوایل دوره پر شدن مغز (تیرماه)، موجب سقط جنین و پوکی و سیاه شدن مغز می‌گردد و در اواخر مرحله پر شدن مغز (مرداد ماه) باعث چروکیدگی و تیره شدن رنگ مغز خواهد شد. تنش آبی در شهریور ماه باعث کاهش تجمع مواد خشک در مغز، چروکیدگی و سیاه شدن مغز و کاهش کیفیت آن خواهد شد (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷). کاهش آبیاری و تنش خشکی در طی ماه‌های خرداد تا مرداد منجر به کاهش گل‌انگیزی، کاهش تشکیل و نقص در جوانه‌های گل شده و کاهش گلدهی برای سال بعد را به دنبال دارد. همچنین تنش آبی در ماه‌های مرداد و شهریور سبب نارس ماندن شاخه‌های در حال رشد و کاهش میزان خشبی شدن شاخه‌های درخت شده و منجر به افزایش خطر سرمازدگی پاییزه و زمستانه می‌شود (Goldhamer, 1997; Ramos, 1997). در ارقام حساس به تنش گرما آبیاری کامل در طی دو هفته قبل از برداشت برای جلوگیری از آفتاب سوختگی، سیاه شدن و کاهش کیفیت مغز ضروری است (Ramos, 1997; Ramos et al., 1987).

کاهش آبیاری در درختان گردو رقم چیکو به میزان ۳۳ درصد تا ۶۶ درصد نیاز آبی نشان داد که در این شرایط کم‌آبیاری، میزان عملکرد بین ۲۰ تا ۴۲ درصد کمتر از درختانی بود که به طور کامل آبیاری شدند. سه سال پس از اعمال کم‌آبیاری میزان عملکرد بین ۲۰ تا ۴۰ درصد کاهش یافت و اندازه میوه و کیفیت مغز تحت تأثیر کم‌آبیاری قرار گرفت و کاهش نشان داد (Goldhamer et al., 1986).

به طور کلی در گردو مرحله قبل از برداشت و پس از برداشت محصول به کم‌آبی تحمل بهتری دارد و در صورت اجبار و محدودیت منابع آبی، می‌توانیم با کم‌آبیاری در این مراحل در مصرف آب صرفه‌جویی نماییم (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷). کم‌آبیاری درختان گردو به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد، بنابراین این درخت در مقایسه با درختان بادام، درختان

میوه هسته‌دار، پسته و انگور به تنش کم‌آبی حساس‌تر بوده و برای اعمال کم‌آبیاری در مقایسه با این درختان مناسب نیست (Ramos 1997; Buchner *et al.*, 2008). با این وجود در درختان گردو در شرایط کم‌آبی و خشکسالی با اعمال مدیریت‌های زیر می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Schwankl, 2015).

- کم‌آبیاری را می‌توان در درختان جوان به منظور کاهش حجم تاج و کاهش رشد رویشی اعمال نمود.
- در باغ‌های جوان سعی کنید از مرطوب کردن جاهایی که ریشه‌ای برای جذب آب وجود ندارد خودداری کنید. آبیاری نقاط فاقد ریشه منجر به افزایش تبخیر و هدر روی آب می‌شود و رشد علف‌های هرز را تحریک کرده و آب محدود ما هدر می‌رود.
- در مناطق کم‌آب بهتر است که درختان گردو در خاک‌های عمیق آبرفتی که قدرت ذخیره آب بیشتری دارند، کشت شوند تا نیاز به آبیاری کمتر باشد.
- در شرایط زمستان‌های خشک و در صورت عدم بارش زمستانه، آبیاری باغ‌ها در اواخر زمستان که نیاز محصولات دیگر و گیاهان زراعی به آب شروع نشده است، می‌تواند مفید واقع شود.
- در صورت مواجه شدن با منابع آبی محدود، به منظور کاهش مصرف آب و نیز بروز اثرات کمتر تنش آبی، اعمال کم‌آبیاری در اوایل فصل رشد، مرحله قبل از برداشت و نیز در مرحله پس از برداشت توصیه می‌شود. همچنین کم‌آبیاری خفیف (حدود ۲۰ درصد کاهش آبیاری) در طی فصل رشد قابل توصیه است.
- با افزایش بهره‌وری سیستم آبیاری می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کرد.
- کنترل علف‌های هرز، استفاده از مالچ و شخم سطحی خاک می‌تواند در صرفه‌جویی در مصرف آب به میزان ۲۰ تا ۳۰ درصد کمک نماید.
- در شرایط خشکسالی با انجام هرس سنگین و کاهش حجم تاج می‌توان از خشکیدگی درختان به منظور بقای آنها بهره جست.
- نوع سیستم آبیاری قطره‌ای و یا استفاده از آبیاری یک‌طرفه^۱ باعث صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

¹Partial zone

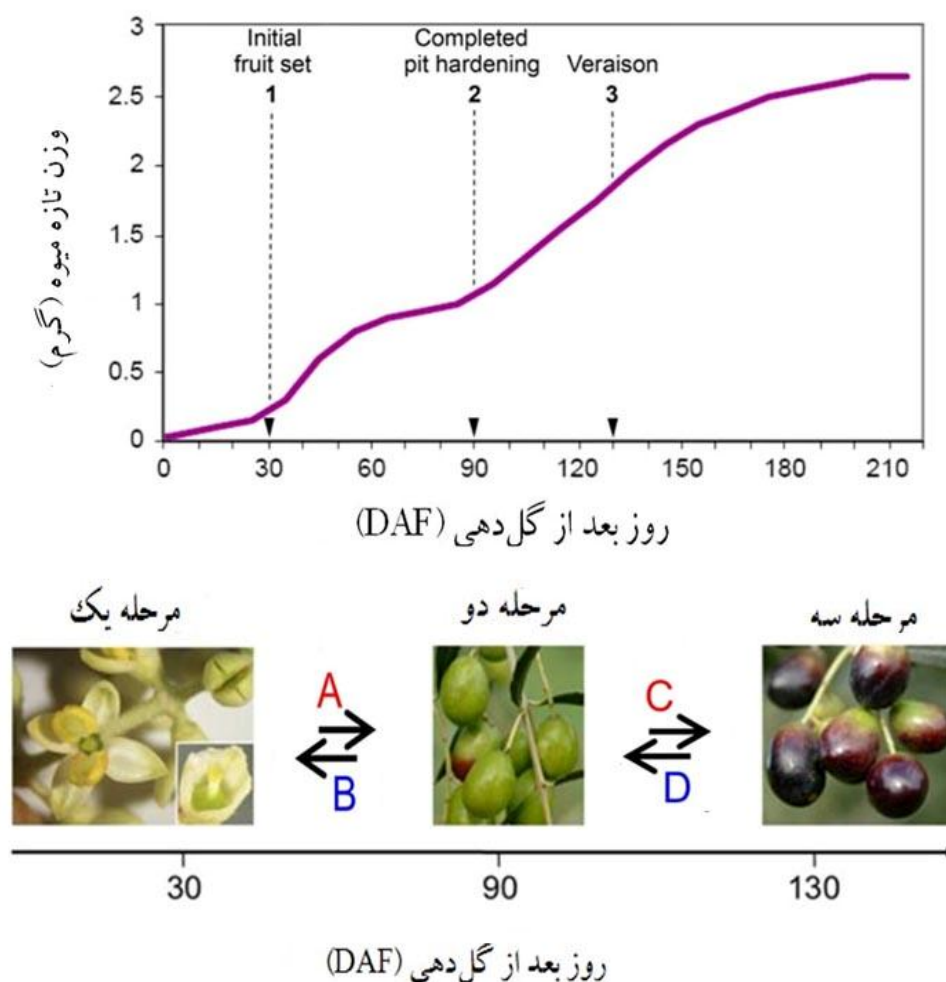
مدیریت کم آبیاری در درختان زیتون

زیتون درختی مقاوم به خشکی است که از زمان‌های دور در نواحی با منابع آب محدود و تحت شرایط دیم کشت می‌شده است، اما با این حال پاسخ این گیاه به آبیاری مثبت است (Ruiz- Sanchez et al., 2010). درختان زیتون می‌توانند در خاک‌های کم‌عمق با حداقل آبیاری زنده بمانند، اما برای تولید محصول اقتصادی و دستیابی به حداکثر عملکرد و بیشترین اندازه میوه و نیز افزایش عملکرد روغن باید آب کافی در اختیار درختان زیتون قرار گیرد (Moriana et al., 2003).

در نواحی خشک اسپانیا که آبیاری کامل درختان زیتون امکان‌پذیر نبود، تصمیم گرفته شد به جای کم کردن سطح زیر کشت، کم آبیاری جانشین آبیاری کامل شود (Ruiz- Sanchez et al., 2010). تحقیقات نشان داده است، کم آبیاری برای تولید روغن زیتون مفید است. میوه زیتون همانند درختان هسته دار شفت بوده و دومین مرحله نمو میوه که مصادف با سخت شدن هسته است رشد کندی دارد و بیشترین مقاومت را به کم آبی دارد (شکل ۲۳). کاهش آبیاری از زمان شروع پر شدن هسته تا دو هفته پس از شروع رسیدن میوه، در درختان زیتون توصیه شده است (Iniesta et al., 2009). در حقیقت مرحله دوم نمو میوه با دوره تبخیر و تعرق زیاد هم‌زمان است، لذا درخت زیتون می‌تواند به عنوان محصولی با ظرفیت بالا برای کم آبیاری تنظیم شده به کار رود (Goldhamer et al., 1993).

پاسخ درختان زیتون به کم آبیاری به میزان ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد تبخیر و تعرق (آبیاری کامل) در اواسط تابستان با آبیاری کامل به مدت چهار سال مورد مقایسه قرار گرفت. بر طبق نتایج، کم آبیاری، بهره‌وری آب و خصوصیات چشایی روغن را بهبود بخشید و تیمار ۵۰ درصد تبخیر و تعرق به دلیل ذخیره ۳۵ درصدی آب بدون کاهش محصول مورد توجه قرار گرفت (Motilva et al., 2000). به طور کلی کم آبیاری به رسیدن میوه سرعت بخشید و بر ترکیب روغن در اوایل مرحله رسیدن اثرگذار بود، اگرچه تیمار آبیاری کامل در زمان برداشت اختلاف معنی‌داری در ترکیب روغن نداشت (Berenguer et al., 2006). درختان زیتون بالغ تحت سه تیمار کم آبیاری با آب‌دهی ۷۰ درصد گیاهان شاهد در اواسط تابستان، کم آبیاری ثابت با آب‌دهی ۷۵ درصد گیاهان شاهد در سراسر فصل رشد و نیز تیمار آبیاری کامل ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که میانگین کاهش محصول در هر دو روش تنش آبی (RDI) و (SDI) مشابه بود، اما وضعیت آبی درخت در کم آبیاری ثابت (SDI) بهتر از کم آبیاری تنظیم شده (RDI) بود. به طور کلی اختلاف معنی‌داری برای توجیه بهتر بودن یکی از این دو روش آبیاری وجود نداشت، لذا هر دو روش کم‌آبدهی می‌تواند در درختان زیتون مفید باشد تا بتواند مقدار معنی‌داری از آب را ذخیره کند، هر چند کاهش در محصول روغن نیز در سال‌های بعد دیده خواهد شد (Ferrer et al., 2007). گلدهامر (Goldhamer, 1999) دریافت که کاهش کاربرد آب به میزان ۱۵ تا ۲۵ درصد کاربرد فصلی در نیمه تابستان اثر منفی بر میزان محصول ندارد. کاهش رشد رویشی ایجاد شده

توسط کم‌آبدهی منجر به کنترل اندازه تاج درخت شده و ممکن است تعداد میوه در درخت را کاهش دهد (Iniesta et al., 2009).



شکل ۲۳- منحنی رشد دوگانه میوه زیتون (همانند درختان میوه هسته‌دار) و رشد کند در دومین مرحله نمو میوه (سخت شدن هسته) بیشترین مقاومت را به کم‌آبی دارد

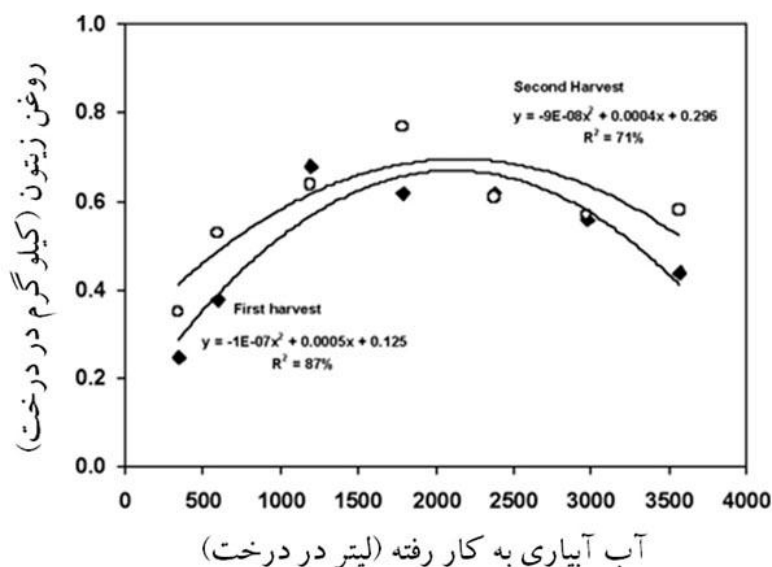
مدیریت کم‌آبیاری در ارقام کنسروی

میزان و زمان اعمال کم‌آبیاری در درختان زیتون برای تولید حداکثر عملکرد دارای اهمیت است. حداکثر اندازه میوه و عملکرد محصول از اجزای کلیدی در تولید زیتون‌های کنسروی محسوب می‌شود، ولی در شرایط کم‌آبی با اعمال کسر آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی در طی ماه‌های خرداد تا اواخر مرداد می‌توان بدون کاهش عملکرد به میزان ۲۱ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود (Schwankl, 2015). در شرایط کم‌آبی شدید و خشکسالی می‌توان با اعمال کم‌آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی در

طی اوایل اردیبهشت تا اواسط خرداد و کاهش آب آبیاری به میزان ۲۵ درصد نیاز آبی از اواخر خرداد تا اواخر مرداد می‌توان با کاهش ۱۰ درصدی عملکرد محصول به میزان ۴۰ درصد در میزان آب آبیاری صرفه‌جویی نمود (Goldhamer et al., 2003).

مدیریت کم‌آبیاری در ارقام روغنی

مدیریت آبیاری تأثیر زیادی بر میزان کمیت و کیفیت روغن در زیتون دارد. بیشترین عملکرد روغن در زیتون با آبیاری به میزان ۷۰ تا ۷۵ درصد نیاز آبی (کاهش آبیاری به میزان ۲۵ تا ۳۰ درصد نیاز آبی) به دست می‌آید. اگر چه با آبیاری کامل، کیفیت روغن مطلوب است امانت‌ایج حاصل از تأثیر تنش آبی بر کیفیت و خصوصیات چشایی روغن زیتون نشان داد که کاهش آبیاری تا میزان ۳۵ تا ۴۰ درصد نیاز آبی به‌هیچ‌گونه کاهشی در خصوصیات کیفی روغن ایجاد نکرد و این نشان می‌دهد که در ارقام روغنی می‌توان کم‌آبیاری بیشتری را اعمال نمود (Berenguer et al., 2006). گراتان و همکاران (Grattan et al., 2006) تأثیر تیمارهای مختلف آبیاری را روی زیتون رقم آربیکن^۱ بررسی کردند و گزارش نمودند بهترین کیفیت روغن در آبیاری به میزان ۴۰ تا ۷۰ درصد نیاز آبی (کاهش آبیاری به میزان ۳۰ تا ۶۰ درصد نیاز آبی) حاصل شد (شکل ۲۴). بیشترین عملکرد روغن زیتون در شرایط کم‌آبیاری به میزان ۷۰ درصد نیاز آبی (کاهش ۳۰ درصد آبیاری) به دست می‌آید. درحالی که درختان زیتون کنسروی در این شرایط آبیاری، بیشترین اندازه میوه را تولید نخواهند نمود. از آنجایی که اندازه میوه در شرایط کنسروی اهمیت زیادی دارد، لذا این درختان نباید در شرایط تنش آبی قرار گیرند.



شکل ۲۴- بیشترین عملکرد روغن در زیتون در شرایط آبیاری حدفاصل ۴۰-۷۰ درصد آبیاری کامل

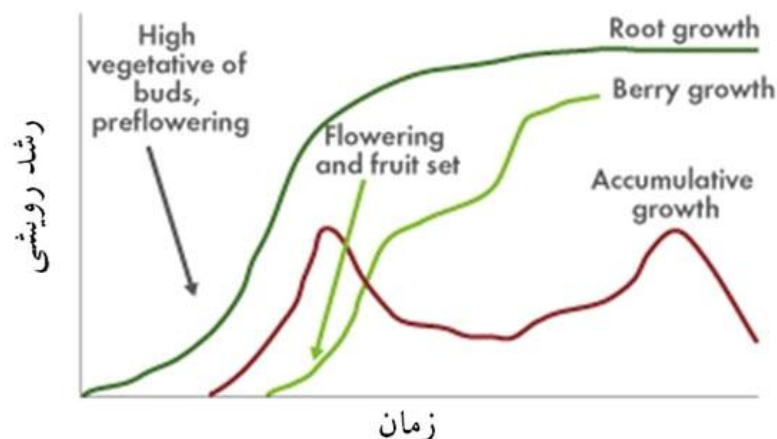
¹Arbequine

در شرایط کمبود آب، مصرف ۴۰ درصد نیاز آبی (۶۰ درصد کاهش آبیاری) عملکرد روغن کاهش نشان می‌دهد، ولی تأثیری روی کیفیت روغن نخواهد داشت. تنش شدید آبی به زیر ۳۰ درصد و شرایط خشکی (کاهش ۷۰ درصد آبیاری) علاوه بر کاهش عملکرد روغن، روی کیفیت روغن و خصوصیات چشایی آن تأثیر منفی خواهد داشت، بنابراین کشت زیتون در شرایط خشکسالی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. بر اساس نتایج انجام شده بر آبیاری درختان زیتون روغنی، آبیاری مطلوب بین ۴۰ تا ۷۰ درصد نیاز آبی است. بهترین کیفیت روغن زیتون در شرایط آبیاری حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد (کاهش حدود ۶۰ تا ۶۵ درصد آبیاری) به دست می‌آید، ولی بیشترین عملکرد روغن در شرایط آبیاری ۷۵-۷۰ درصد آبیاری کامل به دست خواهد آمد، بنابراین برای حصول بهترین کیفیت و عملکرد روغن، کم‌آبیاری متوسط به میزان ۵۰ درصد در شرایط کم‌آبی قابل توصیه می‌باشد (Schwankl, 2015). در همین ارتباط ووسن و همکاران (Vossen et al., 2008) گزارش نمودند که کم‌آبیاری در دامنه ۴۰ تا ۵۷ درصد کمیت و کیفیت روغن در شرایط کم‌آبی مطلوب خواهد بود.

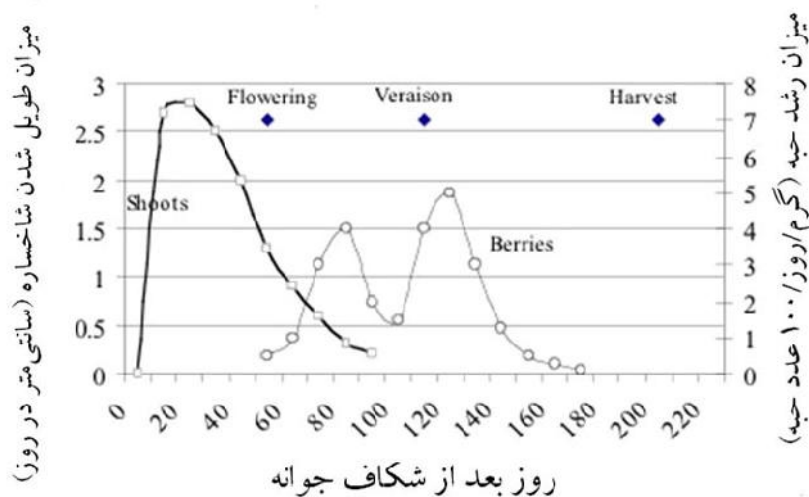
مدیریت کم‌آبیاری در انگور

بین سرعت رشد رویشی (شاخ و برگ) و رشد میوه تفاوت وجود دارد. رشد رویشی شاخ و برگ در اول فصل بعد از گل‌دهی بسیار سریع است، به طوریکه انگور حدود ۷۰ درصد رشد خود را در آن موقع خواهد داشت. پس از آن رشد کاهش می‌یابد و هم‌زمان با کاهش رشد رویشی، سرعت رشد میوه افزایش می‌یابد و سپس کاهش نشان می‌دهد. سرعت رشد رویشی در زمان تغییر رنگ حبه‌ها^۱ به حداقل می‌رسد. سرعت رشد حبه‌ها در انگور در سه مرحله است. مرحله اول مرحله رشد سریع میوه‌ها در اثر تقسیم سلولی است. در مرحله دوم رشد کمی کند می‌شود. این مرحله به طور ویژه در ارقام دانه‌دار طولانی‌تر است. مرحله سوم مرحله نهایی رشد میوه است که افزایش حجم حبه‌ها اتفاق می‌افتد. رشد در این مرحله تا زمان تغییر رنگ حبه‌ها سریع است، ولی پس از آن روند رشد کاهش می‌یابد و رشد تدریجی تا زمان برداشت ادامه دارد. در مرحله سوم حبه‌ها نرم‌تر می‌شوند و بیشترین اندازه حبه و تغییر رنگ حبه‌ها در اواخر این مرحله انجام می‌شود (شکل ۲۵ و ۲۶). اسیدیته و اسید قابل تیتر کاهش می‌یابد و میزان مواد جامد محلول افزایش پیدا می‌کند (Schwankl, 2015).

¹Veraison



شکل ۲۵- منحنی فنولوژیکی رشد رویشی (شاخ و برگ و میوه) انگور (Schwankl, 2015)



شکل ۲۶- تغییرات رشد رویشی و رشد میوه در طی فصل رشد انگور (Schwankl, 2015).

کم آبیاری در اوایل فصل رشد

در شرایط نرمال در اوایل فصل رشد تا زمان تشکیل میوه به دلایل زیر کمبود آبی در درختان انگور به وجود نمی‌آید (Schwankl, 2015).

- معمولاً به دلیل بارندگی در اوایل فصل آب کافی در اطراف ریشه‌ها قرار دارد.
- حجم تاج به اندازه کافی رشد نکرده که نیاز آبی بیش از میزان رطوبت موجود باشد.
- شرایط اقلیمی به گونه‌ای است که در این زمان میزان تبخیر و تعرق به دلیل شرایط خنک هوا متعادل بوده و تنش آبی در گیاهان حاصل نمی‌شود.

کم آبیاری قبل از مرحله تغییر رنگ حبه‌ها

پس از مرحله اول رشد رویشی افزایش پیدا می‌کند و حجم تاج افزایش می‌یابد که نیاز آبی گیاه را افزایش می‌دهد. در صورت عدم آبیاری در این زمان، تقاضای آب گیاه بیشتر از حجم آبی است که توسط ریشه‌ها جذب می‌شود، در نتیجه نیاز به آبیاری وجود دارد. کاهش آبیاری در حد متوسط در این مرحله می‌تواند برای کنترل رشد رویشی مناسب و مفید باشد، بدون آنکه اثر معنی‌داری روی عملکرد داشته باشد، بنابراین در این مرحله می‌توان کسر آبیاری تنظیم شده را در درختان انگور اعمال نمود (Schwankl, 2015).

کم آبیاری در مرحله بعد از تغییر رنگ حبه‌ها

اگر چه در این مرحله رشد شاخ و برگ (تاج) کاهش پیدا می‌کند و یا تقریباً متوقف می‌شود، اما به دلیل آنکه حجم تاج در اندازه نهایی خود می‌باشد و گرمای هوا نیز بالاست، نیاز آبی گیاه در این مرحله در حد بالایی است، بنابراین کاهش آبیاری در این مرحله منجر به کاهش اندازه حبه‌ها در مقایسه با شرایط آبیاری کامل خواهد بود، ولی تأثیر چندانی بر کاهش رشد رویشی و کنترل اندازه گیاه ندارد. تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که با کاهش متوسط آبیاری در اواخر مرحله رسیدن حبه‌ها تا زمان برداشت (دو تا سه هفته قبل از برداشت) می‌توان در مصرف آب صرفه‌جویی کمی نمود، بدون آنکه کاهش معنی‌داری در تغییرات کمی و کیفی حبه‌ها ایجاد شود. در شرایط خاک‌های عمیق و شرایط آب و هوایی معتدل می‌توان آبیاری را مدتی قبل از برداشت قطع نمود (Schwankl, 2015).

کم آبیاری در مرحله بعد از برداشت

تنش شدید آبی و کسر آبیاری شدید در این مرحله باعث کاهش ذخیره کربوهیدرات در شاخه‌ها و جوانه‌ها خواهد شد که رشد را در فصل بعد تحت تأثیر قرار می‌دهد. تنش شدید آبی منجر به کاهش فتوسنتز بعد از برداشت و به دنبال آن کاهش قطر تنه و رشد ریشه‌ها خواهد شد، بنابراین بایستی رطوبت کافی برای رشد ریشه‌ها در مرحله بعد از برداشت وجود داشته باشد (Schwankl, 2015).

اثرات کم آبیاری بر رشد و عملکرد کمی و کیفی انگور

کم آبیاری بستگی به زمان و میزان آن دارد و می‌تواند روی مرحله رشد رویشی، رشد حبه‌ها، کیفیت میوه و میزان یا نسبت اسید قابل تیتراسیون به اسید مالیک، میزان مواد فنلی و عملکرد تأثیر داشته باشد (Schwankl, 2015). آبیاری کامل در انگور می‌تواند با افزایش اندازه حبه‌ها، میزان تولید را افزایش دهد، اما کیفیت حبه‌ها کاهش پیدا می‌کند (Williams and Matthews., 1990). اگر سایر خصوصیات حبه مثل ضخامت پوست تحت تأثیر آبیاری قرار نگیرد، حبه‌های بزرگ‌تر نسبت پوست به گوشت کمتری خواهند داشت. این مسئله منجر به رقیق شدن اجزای اصلی تشکیل دهنده کیفیت حبه که در

پوست قرار دارند می‌شوند. آبیاری به طور غیر مستقیم می‌تواند بر کیفیت حبه اثرگذار باشد و این به دلیل افزایش دادن و طولانی شدن رشد رویشی است. شاخه‌های بیش از حد رشد کرده می‌توانند بر سر کربوهیدرات‌ها با میوه رقابت کنند و نیز رسیدن میوه را مختل نمایند (Smart *et al.*, 1985). تحقیقات انجام شده روی انگور بیشتر بر اساس کاربرد مقدار ثابتی آب در کل فصل است که به آن کم‌آبیاری ثابت (SDI)¹ گویند. این مقدار ثابت کمتر از میزان تبخیر و تعرق واقعی است. در پژوهشی با انجام این روش میزان محصول با افزایش در وزن حبه و خوشه افزایش یافت. همچنین در زمان رسیدن میزان اسیدیته و قند حبه افزایش یافت، اما غلظت آنتوسیانین‌های پوست و رنگ میوه کاهش یافت (Esteban *et al.*, 2001).

تحقیقات نشان داد، کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد میوه باعث ذخیره ۴۰ درصدی آب شد و مقدار محصول در این شرایط مشابه درختان شاهد بود، اما اندازه حبه کاهش یافت. کاهش اندازه حبه منجر به افزایش غلظت آنتوسیانین شد، اما سایر اجزای تشکیل دهنده حبه (قند، اسید قابل تیترا، اسیدیته، اسید مالیک، اسید تارتاریک و فنل کل) تفاوت معنی‌داری با میوه درختان شاهد نداشت. در مقابل، کم‌آبیاری در مراحل نهایی رشد میوه تنها منجر به ذخیره ۱۷ درصدی آب شد و اثری در اندازه نهایی حبه نداشت، اما به دلیل اثرات زیان‌بخش تنش آبی بر فتوسنتز برگ، تجمع قند در حبه مختل شده و رسیدن میوه به تأخیر افتاد (McCarthy, 1997). در همین ارتباط کوبین و مکاریتی (Coombe and McCarthy, 2000) گزارش نمودند که کم‌آبیاری در مراحل اولیه رشد حبه‌ها منجر به افزایش میزان آنتوسیانین در حبه‌های رقم انگور شیراز شد بدون آنکه تأثیر معنی‌داری بر کاهش رشد حبه‌ها داشته باشد (شکل ۲۷).

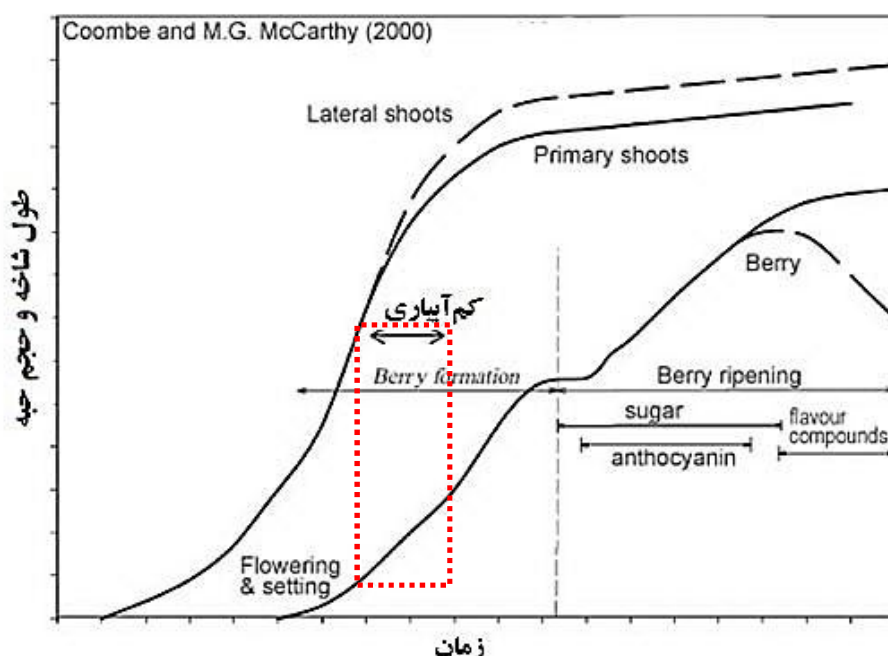
نتایج تحقیقات نشان داد که اثر متقابلی بین میزان محصول و کم‌آبیاری تنظیم شده وجود ندارد (Keller *et al.*, 2008). همچنین کم‌آبیاری تنظیم شده بدون کاهش در میزان محصول، به کنترل رشد رویشی و بهبود کیفیت میوه کمک می‌کند (Loveys *et al.*, 2000). انگورهایی که نیمی از سیستم ریشه آنها در تماس با خاک خشک است، هدایت روزنه‌ای کمتری دارند و رشد رویشی را در پاسخ به آبسازیک اسید تولید شده در ریشه کاهش می‌دهند. این درحالی است که اثرات نامطلوبی بر میزان محصول و کیفیت میوه ندارند (Antolin *et al.*, 2006). خشکی بخشی از منطقه ریشه (PRD) سیستم کم‌آبیاری است که در این روش بخشی از سیستم ریشه آبیاری می‌شود، در حالیکه دیگر بخش دیگری از آن خشک می‌ماند. به این منظور دو نیمه به طور متناوب آبیاری می‌شوند. مثال‌هایی از موفقیت‌آمیز بودن خشکی بخشی از ریشه (PRD) در انگور وجود دارد (Du *et al.*, 2007; Dos Santos *et al.*, 2008; Stoll 2000).

مارشال و همکاران (Marsal *et al.*, 2008) نشان دادند که خشکی بخشی از سیستم ریشه (PRD) در خاک‌های سنگین نسبت به خاک‌های شنی که چرخه خیس و خشک شدن خاک به آسانی انجام می‌-

¹Sustained deficit irrigation

شود، اثر کمتری دارد. تحقیقات اخیر قابلیت استفاده از این تکنیک را در افزایش کمیت و کیفیت محصول انگور در مقایسه با کسر آبیاری تنظیم شده تأیید می‌نماید (Antolin *et al.* 2006; Dos Santos *et al.* 2007; De La Hera *et al.* 2007; Du *et al.* 2008, Stoll 2000). به هر حال در بعضی از گونه‌های درختان میوه روش PRD نتایج مشابهی با روش RDI نشان داده است (Ruiz- Sanchez *et al.*, 2010; Egea *et al.*, 2006).

دولتی بانه و نورجو (۱۳۹۰) به منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب در تاکستان‌های استان آذربایجان غربی اعمال ۲۵ درصد کم‌آبیاری را در طول فصل رشد توصیه نمودند. با کاهش ۲۵ درصدی مصرف آب، بدون اینکه کاهش معنی‌داری در عملکرد دیده شود، بهره‌وری مصرف آب ۳۰ درصد افزایش یافت. بهره‌وری مصرف آب در ارقام انگور متفاوت بود و رقم رشه بیشترین بهره‌وری را در مصرف آب نشان داد. در آزمایش دیگری (ربیعی و همکاران، ۱۳۸۲) بوته‌های انگور رقم مرلوت تحت تیمار آبیاری کامل و کم‌آبیاری قرار گرفتند. بوته‌های شاهد از زمان شروع رسیدن میوه (۶۰ روز پس از تمام گل) تا زمان برداشت محصول، حدود ۷۰ میلی‌متر باران دریافت کردند. بوته‌های تحت تنش فقط در دو نوبت ۶۰ و ۱۰۳ روز پس از تمام گل با حدود دو میلی‌متر آب در هر نوبت آبیاری شدند. طبق نتایج، میزان اسید کل در تیمار شاهد به طور معنی‌داری بیشتر بود، اما pH آب انگور در تیمار خشکی بیش از تیمار شاهد بود. غلظت فنل کل و آنتوسیانین در تیمار تنش خشکی بیش از تیمار شاهد بود. تنش خشکی اندازه حبه (وزن و حجم) را کاهش داد (ربیعی و همکاران، ۱۳۸۲).



شکل ۲۷- منحنی رشد رویشی و زایشی انگور رقم شیراز (Coombe and McCarthy, 2000)

مدیریت باغ‌های درختان میوه در شرایط تنش شدید آبی

در شرایط تنش شدید آبی و خشکسالی (شرایطی که میزان آبیاری بسیار کم است یا به طور کلی آبی برای آبیاری وجود ندارد)، هدف زنده ماندن درختان است، بنابراین هرس شدید درختان و کاهش حجم تاج می‌تواند در زنده ماندن درختان مؤثر باشد. بنابراین در شرایط خشکسالی با انجام هرس سنگین و کاهش حجم تاج می‌توان از خشکیدگی درختان به منظور بقای آنها بهره جست. با این استراتژی می‌توان درختان را در شرایط خشکسالی زنده نگه داشت و در طی دو فصل با آبیاری نرمال و کافی می‌توان حجم تاج را به شرایط ایده‌آل و استاندارد رساند (Schwankl, 2015; Probesting and Middleton, 1980).

نتیجه گیری

درختان میوه از جمله گیاهانی هستند که حجم آب زیادی برای تولید محصول مصرف می‌کنند. با محدودیت آب آبیاری در شرایط کم‌آبی، یک تغییر اساسی در مدیریت آبیاری در باغ‌های میوه صورت می‌گیرد. در شرایطی که میزان بارندگی در یک سال کم باشد و یا در مناطقی که در تمام سال‌ها آب موجود کم است، اطلاع داشتن از واکنش درختان میوه و حساسیت مراحل فنولوژیکی رشد میوه آنها نسبت به کم‌آبی و تنش رطوبتی بسیار مهم است. در این شرایط بایستی با شناخت از واکنش درختان در مراحل فنولوژیکی رشد و نمو میوه، چگونگی صرفه‌جویی در مصرف آب بررسی شود تا اگر قرار است تنش کم‌آبی، به درختان وارد شود، این تنش در مرحله‌ای از رشد و نمو در طی فصل رشد صورت گیرد که کمترین اثر را روی کیفیت و کمیت محصول سال جاری و عملکرد در سال بعدی داشته باشد. شناخت دوره‌های بحرانی و حساس در طی فصل رشد و مراحل فنولوژیکی رشد و نمو میوه از نظر نیاز آبی به منظور جلوگیری از صدمه و خسارت به رشد و عملکرد درختان میوه اهمیت زیادی دارد. همچنین شناخت دوره‌ها یا مراحل که تحمل بیشتری نسبت به تنش‌های آبی یا محدودیت آبیاری نشان می‌دهند نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. در مناطقی که محدودیت منابع آبی وجود دارد، کم-آبیاری می‌تواند یک راهکار مناسب برای تولید محصول در درختان میوه تحت شرایط کم‌آبی باشد. به دلیل تفاوت بین مراحل رشد رویشی و زایشی در درختان میوه با گیاهان زراعی، می‌توان مدیریت کم-آبیاری را در شرایط کم‌آبی بر اساس مراحل فنولوژیکی رشد و نمو درختان میوه تنظیم نمود، اما با این وجود تعدادی از باغداران اطلاع دقیقی از مراحل فنولوژی رشد درختان میوه نداشته و جهت دستیابی به محصول مطلوب در طی فصل و تولید محصول در فصل بعدی دقت کافی را در آبیاری محصولشان در شرایط کم‌آبی ندارند. موفقیت در مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شده در درختان میوه، بستگی به مراحل فنولوژیکی رشد، زمان رسیدن میوه (زودرس، متوسط‌رس یا دیررس بودن)، نوع سیستم آبیاری، نوع خاک (بافت و عمق خاک) و شرایط اقلیمی محل کاشت دارد.

در درختان میوه هسته‌دار، اعمال تنش آبی یا مدیریت کم‌آبیاری به مراحل فنولوژیکی رشد میوه و زمان رسیدن میوه بستگی دارد. کم‌آبیاری تنظیم شده در درختان هلو به طور موفقیت‌آمیزی می‌تواند به کار رود اما زمان اعمال تنش در درختان هلو به زمان رسیدن میوه بستگی دارد. در ارقام زودرس هلو مرحله دوم خیلی کوتاه است، بنابراین رشد سریع میوه تا زمان برداشت ادامه دارد. بنابراین در ارقام زودرس امکان اعمال مدیریت کم‌آبیاری در این مرحله وجود ندارد و کم‌آبیاری بایستی بعد از برداشت محصول اعمال گردد. بنابراین در ارقام زودرس انجام آبیاری کامل از زمان تشکیل میوه تا زمان برداشت ضروری است. در ارقام دیررس، مرحله دوم رشد میوه که هم‌زمان با دوره سخت شدن هسته و کاهش سرعت رشد میوه است حدود ۴ تا ۶ هفته بوده‌و حساسیت به تنش آبی در این دوره کمتر می‌باشد لذا با اعمال مدیریت کم‌آبیاری در حدود ۴۰ تا ۶۰٪ نیاز آبی در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. بطوری که کم‌آبیاری به میزان ۳۵ درصد تبخیر و تعرق در مرحله دوم رشد میوه (مرحله سخت شدن هسته) در ارقام دیررس و یا در زمان پس از برداشت در ارقام زودرس، بدون اینکه در میزان محصول و اندازه نهایی میوه سال جاری و یا تشکیل گل و میوه در سال بعد، تأثیر معنی‌داری داشته باشد، باعث ذخیره آب تا بیش از ۲۲ درصد در خاک‌های کم‌عمق و تا ۳۵ درصد در خاک‌های عمیق می‌شود.

درختان گیلان و آلبالو به دلیل زودرس بودن محصول‌رشد سریع میوه تا زمان برداشت ادامه دارد و مرحله دوم رشد میوه (سخت شدن هسته) خیلی کوتاه است و امکان اعمال مدیریت کم‌آبیاری در این مرحله وجود ندارد، بنابراین در ارقام گیلان و آلبالو بایستی از زمان تشکیل میوه تا قبل از برداشت محصول آبیاری به صورت کامل انجام شود، اما در مرحله بعد از برداشت به جز زمان تشکیل جوانه‌های گل (در اوایل مرداد ماه) می‌توان با مدیریت صحیح کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود، بنابراین در شرایط محدودیت منابع آب، می‌توان با کاهش آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی درختان به میزان ۴۵ تا ۵۰ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. محدود کردن آبیاری آلو و گوجه در زمان پس از برداشت صرف‌نظر از اثرات سو آن در درازمدت، می‌تواند در باغ‌های تجاری که دچار کمبود آب آبیاری هستند، به عنوان ابزاری برای کنترل رشد رویشی به کار رود. در درختان زردآلو می‌توان تنش آبی را در اواسط رشد میوه (مرحله دوم) اعمال نمود اما در درختان گیلان و آلبالو در مرحله بعد از برداشت به جز زمان تشکیل جوانه‌های گل (در مرداد ماه) می‌توان با مدیریت صحیح کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. درختان آلو و گوجه در مرحله دوم رشد میوه تحمل بیشتری به تنش آبی داشته و می‌توان با اعمال کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود بدون آنکه تأثیر معنی‌داری در کاهش عملکرد، وزن و اندازه میوه و ریزش میوه داشته باشد. در ارقام زودرس تا میان‌رس بادام می‌توان با اعمال کم‌آبیاری برای مدت دو ماه قبل از برداشت (از اوایل تیر ماه) تا زمان برداشت (اوایل شهریور) با اعمال کم‌آبیاری در مصرف آب صرفه‌جویی نمود بدون آنکه در عملکرد تأثیر معنی‌داری داشته باشد. ارقام دیررس نیز یک دوره دو ماهه قبل از برداشت به تنش کم‌آبی تحمل دارند ولی نبایستی درختان تحت تنش شدید آبی قرار گیرند.

درختان میوه دانه‌دار (سیب، گلاب و به) دارای منحنی رشد ساده می باشند و رشد درختان دانه‌دار تقریباً در تمام طول فصل رشد ادامه دارد. تنش خشکی طولانی مدت در هر زمانی از فصل رشد ممکن است رشد میوه را به طور نامطلوبی تحت تأثیر قرار دهد. اما در شرایط کم آبی، در زمانی که رشد میوه کندتر بوده و رشد شاخساره افزایش می‌یابد، می‌توان آبیاری را محدود نمود. کم‌آبیاری در این زمان اثر زیادی بر اندازه میوه ندارد، اما منجر به کاهش رشد رویشی می‌شود. در زمانی که رشد میوه کندتر بوده و رشد شاخساره افزایش می‌یابد، می‌توان آبیاری را محدود نمود. بطوری که کم‌آبیاری در مراحل آخر رشد میوه سیب به میزان ۵۰ درصد گیاهان شاهد، اندازه میوه و میزان محصول را کاهش نمی‌دهد، در حالی که کم‌آبیاری ثابت در تمام طول سال به طور شدیدی اندازه میوه را کاهش خواهد داد. به طور کلی درختان دانه دار را کمتر در معرض کم‌آبیاری قرار می‌دهند زیرا رشد شاخه و میوه آنها بر هم منطبق است و هیچ یک از مراحل رشد، رشد شاخساره به طور واضح متمایز از رشد میوه نیست. به طور کلی کم‌آبیاری درختان گردو به منظور صرفه‌جویی در مصرف آب در طی فصل رشد منجر به کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد. در درختان گردو مرحله قبل از برداشت و پس از برداشت محصول به کم‌آبی تحمل بهتری دارد و در صورت اجبار و محدودیت منابع آبی، می‌توانیم با کم‌آبیاری در این مراحل در مصرف آب صرفه‌جویی نماییم. بنابراین این درخت در مقایسه با درختان میوه هسته‌دار و درختان بادام، زیتون و انگور، به تنش کم‌آبی حساس‌تر بوده و برای اعمال کم‌آبیاری در مقایسه با این درختان مناسب نیست.

میوه زیتون همانند درختان هسته دار شفت بوده و دومین مرحله نمو میوه که مصادف با سخت شدن هسته است رشد کندی دارد و بیشترین تحمل را به کم‌آبی دارد. میزان و زمان اعمال کم‌آبیاری در درختان زیتون برای تولید حداکثر عملکرد دارای اهمیت است. در ارقام کنسروی زیتون، حداکثر اندازه میوه و عملکرد محصول از اجزای کلیدی محسوب می‌شود، کاهش آبیاری از زمان شروع پر شدن هسته تا اوایل مرحله رسیدن میوه، در ارقام کنسروی توصیه شده است. در شرایط کم‌آبی با اعمال کسر آبیاری به میزان ۵۰ درصد نیاز آبی در طی ماه‌های خرداد تا اواخر مرداد می‌توان بدون کاهش عملکرد به میزان ۲۱ درصد در مصرف آب صرفه‌جویی نمود. در ارقام روغنی زیتون، برای حصول بهترین کیفیت و عملکرد روغن، کم‌آبیاری متوسط به میزان ۵۰ درصد در شرایط کم‌آبی قابل توصیه می‌باشد.

در انگور، کم‌آبیاری در حد متوسط قبل از مرحله تغییر رنگ حبه‌ها، می‌تواند برای کنترل رشد رویشی مناسب و مفید باشد، بدون آنکه اثر معنی‌داری روی عملکرد داشته باشد، همچنین، کاهش متوسط آبیاری در اواخر مرحله رسیدن حبه‌ها تا زمان برداشت (دو تا سه هفته قبل از برداشت) می‌تواند در مصرف آب صرفه‌جویی کمی نمود، بدون آنکه کاهش معنی‌داری در تغییرات کمی و کیفی حبه‌ها ایجاد شود. بنابراین در این مراحل می‌توان کسر آبیاری تنظیم شده را در درختان انگور اعمال نمود. تحقیقات اخیر قابلیت استفاده از تکنیک خشکی بخشی از منطقه ریشه (PRD) به عنوان روشی کارآمد در مدیریت کم آبیاری انگور در مقایسه با کسر آبیاری تنظیم شده (RDI) تایید می‌نماید. در شرایط تنش

شدید آبی و خشکسالی (شرایطی که میزان آبیاری بسیار کم است یا به طور کلی آبی برای آبیاری وجود ندارد)، هدف زنده ماندن درختان میوه است، بنابراین هرس شدید درختان و کاهش حجم تاج می‌تواند در زنده ماندن درختان مؤثر باشد.

منابع مورد استفاده

- ارجی، ع.، حسنی، ب. و قمرنیا، ه. ۱۳۹۴. اثر تیمارهای کم آبیاری بر خصوصیات رویشی و کمیت و کیفیت سیب رقم گلدن دلشیز. نشریه علوم باغبانی مشهد. جل ۲۹، شماره ۴، صفحات: ۶۲۰-۶۱۰.
- دولت‌شاهی، ع.، اسفندیاری، خ.، جلالی، ر.، سعیدنیا، ا.، عرب، ج. و طیب هاشمی، س.م. ۱۳۸۸. دستورالعمل احداث باغداران اراضی شیب دار. دفتر فنی اجرایی، معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور (http://tec.mporg.ir) (www.agri-peri.ir)، وزارت جهاد کشاورزی، نشریه شماره ۵۱۰، ۲۰۸ صفحه.
- دولتی‌بانه، ح. و نوری، ا. ۱۳۹۰. اثر کم آبیاری بر کمیت، کیفیت میوه و بهره‌وری مصرف آب سه رقم انگور. مجله به‌زراعی نهال و بذر، جلد ۲-۲۷، شماره ۴، صفحات ۴۵۰-۴۳۵.
- ربیعی، و.، طلایی، ع.، پترلونگر، ا.، عبادی، ا. و احمدی، ا. ۱۳۸۲. اثر کم آبیاری در آخر فصل بر ترکیبات میوه انگور رقم مرلوت. مجله علوم کشاورزی ایران، جلد ۳۴، شماره ۴، صفحات ۹۶۸-۹۶۱.
- رحمتی، م.، داوری نژاد، غ.، بنایان اول، م. و عزیزی، م. ۱۳۹۳. اثر تنش کم آبی بر رشد درخت هلو در شرایط مدیریت باغ تجاری. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸، شماره ۵، صفحات: ۱۱۱۱-۱۱۱۱.
- علی‌محمدی، ر.، موسوی، س. ا.، تاتاری، م. و فتاحی، ا. ۱۳۹۱. اثر کم آبیاری در مراحل رشد و توسعه میوه بادام بر میزان عناصر و عملکرد بادام. مجله پژوهش آب، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحه ۱۴۳-۱۵۹.
- کرمی، ف. ۱۳۷۶. بررسی اثرات تنش های رطوبتی روی رشد رویشی و باردهی درختان هلو. پایان نامه کارشناسی ارشد باغبانی، گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران، ایران.
- مدنی، ب.، موسوی، س. ا. و مرادی، ح. ۱۳۸۷. مدیریت افزایش کیفیت گردو. انتشارات کنکاش اصفهان، ۹۰ صفحه.
- موسوی، س. ف. ۱۳۷۱. آبیاری باغ‌های میوه خزان دار (ترجمه و تدوین). نشر ارکان، اصفهان، ۱۳۰ صفحه.

موسوی، س. ا.، علی‌محمدی، ر. و تاتاری، م. ۱۳۸۸. اثر کم‌آبیاری در مراحل مختلف فنولوژیکی رشد و نمو میوه بر عملکرد بادام رقم مامایی. مجله علمی- پژوهشی نهال و بذر، جلد ۲-۲۵، شماره ۲. صفحه ۲۲۷-۲۰۷.

وطن‌پور ازغندی، ع. و ناخدا، ب. ۱۳۸۲. کمک به درختان میوه در شرایط خشکی. فصلنامه علمی- ترویجی خشکی و خشکسالی کشاورزی، شماره هفتم، صفحه ۴۸-۴۴.

- Abrisqueta, J.M., Mounzer, O., Aavarez, S., Conejero, W., Garcia-Orellana, Y., Tapia, L.M., Vera, J., Abrisqueta, I. and Ruiz-Sanchez, M.C. 2008.** Root dynamics of peach trees submitted to partial rootzone drying and continuous deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 95: 959-967.
- Antolin, M.C., Ayari, M. and Sanchez-Diaz, M. 2006.** Effects of partial rootzone drying on yield, ripening and berry ABA in potted Tempranillo grapevines with split roots. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 12: 13-20.
- Antunez Barria, A.J. 2006.** The impact of deficit irrigation strategies on sweet cherry (*prunus avium*) physiology and spectral reflectance. Ph.D Thesis, Department of Biological Systems Engineering, Washington State University, USA, Pp:211.
- Behboudian, M.H. and Mills, T.M. 1997.** Deficit irrigation in deciduous orchards. *Horticultural Reviews*, 21(4):105-132.
- Behboudian, M.J., Girona, J. and Lopez, G. 2011.** Quality and yield responses of deciduous fruits to reduced irrigation. *Horticultural Reviews*, 38: 149-190.
- Berenguer, M.J., Vossen, P.M., Grattan, S.R., Connell, J.H. and Polito, V.S. 2006.** Tree irrigation levels for optimum chemical and sensory properties of olive oil. *Horticultural Science*, 41 (2): 427-432.
- Boland, A.M., Mitchell, P.D., Jerie, P.H. and Goodwin, I. 1993.** The effect of regulated deficit irrigation on tree water use and growth of peach. *Journal of Horticultural Science*, 68: 261-274.
- Buchner, R.P., Fulton, A.E., Gilles, C.K., Prichard, T.L., Lampinen, B.D., Shackel, K.A., Metcalf, S.G., Little, C.C. and Schwankl, L.J. 2008.** Effects of regulated deficit irrigation on walnut grafted on "Northern California Black" or "Paradox" rootstock. *Acta Horticulturae*, 792: 141-146.
- Buendia, B., Allende, A., Nicolas, E., Alarcon, J.J. and Gil, M.I. 2008.** Effect of regulated deficit irrigation and crop load on the antioxidant compounds of peaches. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56: 3601-3608.
- Candogan, B.N. and Yazgan, S. 2010.** The effects of different irrigation levels on vegetative growth of young dwarf cherry trees in a sub-humid climate. *Pakistan Journal of Botany*, 42(5): 3399-3408.
- Caspari, H.W., Behboudian, M.H. and Chalmers, D.J. 1994.** Water use, growth, and fruit yield of 'Housi' Asian pears under deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 119: 383-388.
- Chalmers, D.J., Mitchell, P.D. and Van Heek, L. 1981.** Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density and summer pruning. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106:307-312.
- Cheng, F., Sun, H., Shi, H., Zhao, Zh., Wang, Q. and Zhang, J. 2012.** Effects of regulated deficit irrigation on the vegetative and generative properties of the pear cultivar 'Yali'. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 14: 183-194.

- Conejero, W., Alarcon, J.J., Garcia-Orellana, Y., Abrisqueta, J.M. and Torrecillas, A. 2007.** Daily sap flow and maximum daily trunk shrinkage measurements for diagnosing water stress in early maturing peach trees during the post-harvest period. *Tree Physiology*, 27: 81-88.
- Coombe, B.G. and McCarthy, M.G. 2000.** Dynamics of grape berry growth and physiology of ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, 6:131-135.
- Crisosto, C.H., Johnson, R., Scott, L., Juvenal G. and Crisosto, G.M. 1994.** Irrigation regimes affect fruit soluble solids concentration and rate of water loss of Henry peaches. *Horticultural Science*, 29(10):1169-1171.
- De La Hera, M.L., Romero, P., Gomez-Plaza, E. and Martinez, A. 2007.** Is partial root-zone drying an effective irrigation technique to improve water use efficiency and fruit quality in field-grown wine grapes under semiarid conditions? *Agricultural Water Management*, 87: 261-274.
- Dodd, I.C. 2005.** Root-to-shoot signaling: assessing the roles of «up» in the up and down world of long-distance signaling in plants. *Plant and Soil*, 274: 251-270.
- Dos Santos, T.P., Lopes, C.M., Rodrigues, M.L., DeSouza, C.R., Silva, J.R., Maroco, J.P., Pereira, J.S. and Chaves, M.M. 2007.** Effects of deficit irrigation strategies on cluster microclimate for improving fruit composition of Moscatel field-grown grapevines. *Scientia Horticulture*, 112:321-330.
- Dry, P.R. and Loveys, B.R. 1999.** Grapevine shoot growth and stomatal conductance are reduced when part of the root system is dried. *Vitis*, 38: 151-156.
- Du, T., Kang, S., Zhang, J., Li, F. and Yan, B. 2008.** Water use efficiency and fruit quality of table grape under alternate partial root-zone drip irrigation. *Agricultural Water Management*, 95: 659-668.
- Ebel, R.C., Proebsting, E.L. and Evans, R.G. 1995.** Deficit irrigation to control vegetative growth in apple and monitoring fruit growth to schedule irrigation. *Horticultural Science*, 30(6):1229-1232.
- Egea, G. 2008.** Characterization and modelling of the agronomic and physiologic responses of almond trees to water deficit. PhD thesis. Universidad Politécnica de Cartagena, Spain. 90 pp.
- Egea, G., Nortes, P.A., Gonzales-Real, M.M., Baille, A. and Domingo R. 2010.** Agronomic response and water productivity of almond trees under contrasted deficit irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 97: 171-181.
- Esteban, M.A., Villanueva, M.J. and Lissarrague, J. 2001.** Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv. Tempranillo (*Vitis vinifera* L.) grape berries during ripening. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81: 409-420.
- Fereres, E. and Soriano, M.A. 2007.** Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, 58: 147-159.
- Fulton, A., Buchner, R., Giles, C., Olson, B., Walton, J., Schwankl, L. and K. Shackel. 2001.** Rapid equilibrium of leaf and stem water potential under field conditions in almonds, walnuts, and prunes. *Horticultural Technology*, 11: 502-673.
- Girona, J., Marsal, J., Cohen, M., Mata, M. and Miravete, C. 1993.** Physiological and yield response of almond (*Prunus dulcis*) to different irrigation regimes. *Acta Horticulture*, 335: 389-398.

- Girona, J., Arbones, A. and Miravete, C. 1997.** Evaluation of almond (*Amygdalus communis*) seasonal sensitivity to water stress: Physiological and yield responses. *Acta Horticulture*, 449(2): 489-496.
- Girona, J., Mata, M. and Marsal, J. 2005.** Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, 75: 152-167.
- Girona, J., Del Campo, J., Bonastre, N., Paris, C., Mata, M., Arbones, A. and Marsal, J. 2009.** Evaluation of different irrigation strategies on apple (*Malus domestica*). Physiological and productive results. *Proc VI International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops*, Vina del Mar, Chile. p.54.
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Arbones, A. and DeJong, T. 2004.** A comparison of the combined effect of water stress and crop load on fruit growth during different phenological stages in young peach trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 79: 308-315.
- Girona, J., Mata, M. and Marsal, J. 2005a.** Regulated deficit irrigation during the kernel-filling period and optimal irrigation rates in almond. *Agricultural Water Management*, 75: 152-167.
- Girona, J., Mata, M., Arbones, A., Alegre, S., Rufat, J. and Marsal, J. 2003.** Peach tree response to single and combined regulated deficit irrigation regimes under shallow soils. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128: 432-440.
- Girona, J., Mata, M., Goldhamer, D.A., Johnson, R.S. and DeJong, T.M. 1993.** Patterns of soil and tree water status and leaf functioning during regulated deficit irrigation scheduling in peach. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 118(5): 580-586.
- Girona, J., Gelly, M., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J. and Marsal, J. 2005b.** Peach tree response to single and combined deficit irrigation regimes in deep soils. *Agricultural Water Management*, 72: 97-108.
- Goldhamer, D.A., Phene, B.C., Beede, R., DeJong, T.M., Ramos, D. and Doyle, J. 1986.** Water relations of high and conventional density walnuts. Report to the California Walnut Board. pp 28-38.
- Goldhamer, D.A. and Smith, T.E. 1995.** Single-season drought irrigation strategies influence almond production. *California Agriculture*, 49(1): 19-22.
- Goldhamer, D.A. and Fereres, E. 2001.** Simplified tree water status measurement can aid almond irrigation. *California Agriculture*, 55(3): 32-37.
- Goldhamer, D.A., Fereres, E. and Salinas, M. 2003.** Can almond trees directly dictate their irrigation needs? *California Agriculture*, 57(4): 139-143.
- Goldhamer, D.A. and Viveros, M. 2000.** Effects of preharvest irrigation cutoff durations and postharvest water deprivation on almond tree performance. *Irrigation Science*, 19: 125-131.
- Goldhamer, D.A. 1997.** Irrigation scheduling for walnut orchards. In: *Walnut production manual*. (Ramos, D.E., Editor). Division of agriculture and natural resources, University of California. Davis, USA, pp: 159-166.
- Goldhamer, D.A., Dunai, J. and Ferguson, L. 1994.** Irrigation requirements of olive trees and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae*, 356: 172-176.
- Goldhamer, D.A. 1996.** Irrigation scheduling. In: *Almond production manual* (Micke, W.C., ed). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources. p: 171-178.

- Goldhamer, D.A. 1999.** Regulated deficit irrigation for California canning olives. *Acta Horticulturae*, 474: 369-372.
- Goldhamer, D.A., Dunai, J. and Ferguson, L. 1993.** Water use requirements of Manzanillo olives and responses to sustained deficit irrigation. *Acta Horticulturae*, 335: 365-371.
- Goldhamer, D.A., Viveros, M. and Salinas, M. 2006.** Regulated deficit irrigation in almonds: effects of variations in applied water and stress timing on yield and yield components. *Irrigation Science*, 24: 101-114.
- Goodwin, I. and Boland, A.M. 2002.** Scheduling deficit irrigation of fruit trees for optimizing water use efficiency. In *Deficit Irrigation Practices* FAO Water Reports 22 (Rome) 67-78.
- Grattan, S.R., Berenguer, M.J., Connell, J.H., Polito, V.S. and Vossen, P.M. 2006.** Olive oil production as influenced by different quantities of applied water. *Agricultural Water Management*, 85 (1-2): 133-140.
- Handley, D.F. and Scott, J.R. 2000.** Late summer irrigation of water-stressed peach trees reduces fruit doubles and deep sutures. *Horticultural Science*, 35(4): 771.
- Iniesta, F., Testi, L., Orgaz, F. and Villalobos, F.J. 2009.** The effects of regulated and continuous deficit irrigation on the water use, growth and yield of olive trees. *European Journal of Agronomy*, 30: 258-265.
- Intrigliolo, D.S. and Castel, J.R. 2005.** Effects of regulated deficit irrigation on growth and yield of young Japanese plum trees. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 80: 177-182.
- Johnson, R., Scott, H.D.F. and Day, K.R. 1994.** Postharvest water stress of an early maturing plum. *Journal of Horticultural Science*, 69(6): 1035-1041.
- Johnson, R.S., Handley, D.F. and DeJong, T.M. 1992.** Long term response of early maturing peach trees to postharvest water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(6): 881-886.
- Keller, M., Smithyman, R.S. and Mills, L.J. 2008.** Interactive effects of deficit irrigation and crop load on Cabernet Sauvignon in an arid climate. *American Journal of Enology and Viticulture*, 59: 221-234.
- Karmer, P.J. and Boyer, J.S. 1995.** Water relations of plants and soils. Academic Press, New York.
- Kucukyumuk, C., Kacal, E. and Yildiz, H. 2013.** Effects of different deficit irrigation strategies on yield, fruit quality and some parameters: 'Braeburn' apple cultivar. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici*, 41(2): 510-517.
- Lampinen, B.D., Shackel, K.A., Southwick, S.M., Olson, B., Yeager, J.T. and Goldhamer, D. 1995.** Sensitivity of yield and fruit quality of French prune to water deprivation at different fruit growth stages. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120: 139-147.
- Larson, K.D., DeJong, T.M., and Johnson, R.S. 1988.** Physiological and growth response of mature peach trees to postharvest water stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 113(3): 296-300.
- Lopez, G., Behboudian, M.H., Girona, J. and Marsal, J. 2012.** Drought in deciduous fruit trees: Implications for yield and fruit quality. In: *Plant responses to drought stress: from morphological to molecular features*. (Aroca, R., Editor). Springer Heidelberg New York. Pp: 441-459

- Loveys, B.R., Dry, P.R., Stoll, M. and McCarthy, M.G. 2000.** Using plant physiology to improve the water use efficiency of horticultural crops. *Acta Horticultura*, 537: 187-197.
- Marsal, J., Lopez, G. and Girona, J. 2008.** Recent advances in regulated deficit irrigation (RDI) in woody perennials and future perspectives. *Acta Horticultura*, 792: 429-439.
- Marsal J., Rapoport H.F., Manrique T., and Girona J. 2000.** Pear fruit growth under regulated deficit irrigation in container-grown trees *Scientia Horticulture*, 85, 243-259.
- Marsal, J., Mata, M., Arbones, A., Rufat, J. and Girona, J. 2002.** Regulated deficit irrigation and rectification scheduling in young pear trees: an evaluation based on vegetative and productive response. *European Journal of Agronomy*, 17: 111-122.
- Marsal, J., Mata, M., Del Campo, J., Arbones, A., Vallverdu, X., Girona, J. and Olivo, N. 2008.** Evaluation of partial root-zone drying for potential field use as a deficit irrigation technique in commercial vineyards according to two different pipeline layouts. *Irrigation Science*, 26: 347-356.
- Marsal, J., Lopez, G., Arbones, A., Mata, M., Vallverdu, X., Girona, J. 2009.** Influence of postharvest deficit irrigation and pre-harvest fruit thinning on sweet cherry (cv. New Star) fruit firmness and quality. *Journal of Horticultural Science of Biotechnology*, 84: 273-278.
- Marsal, J., Lopez, G., Del Campo, J., Mata, M., Arbones, A., Girona, J. 2009.** Postharvest regulated deficit irrigation in Summit sweet cherry: fruit yield and quality in the following season. *Irrigation Science*, 28: 181-189.
- McCarthy, M.G. 1997.** The effect of transient water deficit on berry development of cv. Shiraz (*Vitis vinifera* L.). *Australian Journal of Grape and Wine Research* 3: 102-108.
- Metheney, P.D., Ferguson, L., Goldhamer, D.A. and Dunai, J. 1994.** Effects of irrigation on Manzanillo olive flowering and shoot growth. *Acta Horticulturae*, 356: 168-171.
- Micke, W. 1996.** Almond production manual. University of California, p 289.
- Mills, T.M., Behboudian, M.H. and Clothier, B.E. 1996.** Water relations, growth and composition of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 121: 286-291.
- Mitchell, P.D. and Chalmers, D.J. 1982.** The effects of reduced water supply on peach tree growth and yields. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 107: 853-856.
- Mitchell, P.D., van den Ende, B., Jerie, P.H. and Chalmers, D.J. 1989.** Response of "Bartlett" pear to withholding irrigation, regulated deficit irrigation, and tree spacing. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 114: 15-19.
- Moriana, A., Orgaz, F., Pastor, R.M. and Fereres, E. 2003.** Yield responses of a mature olive orchard to water deficits. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 128: 425-431.
- Motilva, M.J., Tovar, M.J., Romero, M.P., Alegre, S. and Girona, J. 2000.** Influence of regulated deficit irrigation strategies applied to olive trees (Arbequina cultivar) on oil yield and oil composition during the fruit ripening period. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80: 2037-2043.
- Mousavi, A., Ali Mohamadi, R., Tatari, M. 2015.** Effects of deficit and cutoff irrigation during different phenological stages of fruit growth on production in mature almond trees cv. 'Mamaei'. *Journal of Nuts*, 6(1): 37-45.

- Ortuno, M.F., Garcia-Orellana, Y., Conejero, W., Ruiz-Sanchez, M.C., Alarcon, J.J. and Torrecillas, A. 2006.** Stem and leaf water potentials, gas exchange, sap flow and trunk diameter fluctuations for detecting water stress in lemon trees. *Trees-Structure and Function*, 20: 1-8.
- Papenfuss, K.A. 2010.** Regulated deficit irrigation of 'montmorency' tart cherry. Msc Thesis, Department of Plants, Soils, and Climate, Utah State University, Logan, Utah, USA, Pp:61.
- Papenfuss, K.A. and Black, B.L. 2010.** Regulated deficit irrigation of 'Montmorency' tart cherry. *Horticultural science*, 45(10): 1437-1440.
- Parker, M.L. and Marini, R. 1994.** Drought assistance for tree fruit production. North Carolina Cooperative Extension, AG-519-11.
- Perez-Pastor, A., Ruiz-Sanchez, M.C., Martinez, J.A., Nortes, P.A., Artes, F. and Domingo, R. 2007.** Effect of deficit irrigation on apricot fruit quality at harvest and during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87: 2409-2415.
- Perez-Pastor, A., Domingo, R., Torrecillas, A. and Ruiz-Sanchez, M.C. 2009.** Response of apricot trees to deficit irrigation strategies. *Irrigation Science*, 27: 231-242.
- Perez-Sarmiento, F., Alcobendas, R., Mounzer, O., Alarcon, J. and Nicolas, E. 2010.** Effects of regulated deficit irrigation on physiology and fruit quality in apricot trees. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8(2): 86-94.
- Powell, D.B.B. 1974.** Some effects of water stress in late spring on apple trees. *Journal of Horticultural Science*, 49: 257-272.
- Proebsting, E.L. and Middleton, J.E. 1980.** The behavior of peach and pear trees under extreme drought stress. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 105(3): 380-385.
- Ramos, D.E. 1997.** Walnut production manual. Division of Agriculture and Natural Resources University of California, Pp:320.
- Ramos, D.E., Brown, L.C., Urlu, K. and Marangoni, B. 1978.** Water stress affects size and quality of walnuts. *California Agriculture*, 32(10): 5-6.
- Razouk, R., Ibijbjen, J., Kajji, A. and Karrou, M. 2013.** Response of peach, plum and almond to water restrictions applied during slowdown periods of fruit growth. *American Journal of Plant Sciences*, 4: 561-570.
- Romero, P., Garcia, J. and Botia, P. 2006.** Cost-benefit analysis of a regulated deficit-irrigated almond orchard under subsurface drip irrigation conditions in Southeastern Spain. *Irrigation Science*, 24: 175-184.
- Romero, P., Botia, P. and Garcia, F. 2004.** Effects of regulated deficit irrigation under subsurface drip irrigation conditions on vegetative development and yield of mature almond trees. *Plant Soil*, 260: 169-181.
- Rufat, J., Domingo, X., Pascual, M. and Villar, J.M. 2009.** Water productivity of peach for processing in a soil with low available water holding capacity. Proc VI International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops, Vina del Mar, Chile. Nov 2-6, p. 63.
- Ruiz-Sanchez, M.C., Torrecillas, A., Leon, A. and del Amor, F. 1988.** Floral biology of the almond tree under drip irrigation. *Advances of Horticultural Science*, 2: 96-98.
- Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R., Save, R., Biel, C. and Torrecillas, A. 1997.** Effects of water stress and rewatering on leaf water relations of lemon plants. *Plant Biology*, 39: 623-631.

- Ruiz-Sanchez, M.C., Egea, J., Galego, R. and Torrecillas, A. 1999.** Floral biology of Bulida apricot trees subjected to postharvest drought stress. *Annals of Applied Biology*, 135: 523-528.
- Ruiz-Sanchez, M.C., Torrecillas, A., Perezpastor, A. and Domingo, R. 2000.** Regulated deficit irrigation in apricot trees. *Acta Horticulturae*, 537: 759-766.
- Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R. and Perez-Pastor, A. 2007.** Daily variations in water relations of apricot trees under different irrigation regimes. *Plant Biology*, 51: 735-740.
- Ruiz-Sanchez, M.C., Domingo, R. and Castel, J.R. 2010.** Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain: Review. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 8: 5-20.
- Schwankl, L.J. 2015.** Kearney Agricultural Research and Extension Center, http://ucmanagedrought.ucdavis.edu/Agriculture/Crop_Irrigation_Strategies/.
- Smart, R.E., Robinson, J.B., Due, G.R. and Brien, C.J. 1985.** Canopy microclimate modification for the cultivar Shiraz II. Effects on must and wine composition. *Vitis*, 24: 119-128.
- Stewart, W.L., Fulton, A.E., Krueger, W.H., Lampinen, B.D. and Shackel Ken, A. 2011.** Regulated deficit irrigation reduces water use of almonds without affecting yield. *California Agriculture*, 65(2): 90-95.
- Stoll, M. 2000.** Effects of partial rootzone drying on grapevine physiology and fruit quality. PhD Thesis, Department of Horticultural Faculty of Agriculture and Natural Resource Sciences, Adelaide University, Pp: 231.
- Tapia, L.M., Larios, A., Abrisqueta, I., Mounzer, O., Vera, J., Abrisqueta, J.M. and Ruiz-Sanchez, M.C. 2009.** Peach deficit irrigation. Fruit yield and water use efficiency analysis. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 33: 1-5.
- Torrecillas, A., Domingo, R., Galego, R. and Ruizsanches, M.C. 2000.** Apricot tree response to irrigation with holding at different phenological periods. *Scientia Horticulturae*, 85: 201-215.
- Vossen, P.M., Berenguer, M.J., Grattan, S.R., Connell, J.H. and Polito, V.S. 2008.** The influence of different levels of irrigation on the chemical and sensory properties of olive oil. *Acta Horticulturae*, 791: 439-444.
- Williams, L.E. and Matthews, M.A. 1990.** Grapevine. In: *Irrigation of agricultural crops* (Stewart, B.A., Nielsen, D.R., eds). ASA Madison, WI, USA. Agronomy Monograph No. 30, pp. 1019-1055.
- Zapata, N., Nerilli, E., Martinez-Cob, A., Chalghaf, I., Chalghaf, B., Fliman, D. and Playan, E. 2013.** Limitations to adopting regulated deficit irrigation in stone fruit orchards: a case study. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 11(2): 529-546.