

Investigation of Water Stress Status of Olive Trees Using Crop Water Stress Index

AZIMEH ASGARI¹, ABDOLRAHIM HOOSHMAND^{1*}, SAEED BROUMAND NASAB¹, SHOHRE ZIVDAR²

1. Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Horticulture Science Department, Agriculture faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: Oct. 31, 2019- Revised: Feb. 13, 2020- Accepted: Feb. 19, 2020)

ABSTRACT

The aim of this study was to assess the crop water stress index (CWSI), derived from leaf temperature using infrared thermometer measurements, to investigate the water stress status and irrigation timing of olive trees. For this purpose a regression function was determined between crop water stress index and relative water content of leaf (RWC) and soil water content (SWC). The experimental treatments involved two olive cultivars (Koroneiki and T₂) and four water regimes (irrigation of 100, 85, 70 and 55% of crop water requirement). The results showed that the non-water stressed baseline is varied throughout the study period as well as during the day. The daily variations of non-water stressed baseline were mainly due to variations in the intercept of the non-water stressed baseline that can be explained by variations in zenith solar angle. After investigating the relationship between vapor pressure deficit (VPD) and the difference between crop and air temperature ($T_c - T_a$), the equation of $T_c - T_a = -0.45 \text{ VPD} + 1.06$, $r^2 = 0.99$ was determined for the non-water stressed baseline of the olive trees at 12:30 pm. Crop water stress index of olive trees increased significantly in deficit irrigation regimes compared with control trees. Crop water stress index was significantly correlated with relative water content (Kroneiki: $r^2=0.82^{**}$, T₂: $r^2=0.80^{**}$) and soil water content (Kroneiki: $r^2=0.66^{**}$, T₂: $r^2=0.69^{**}$). Therefore, the crop water stress index is a good indicator of the water stress status of the Koroneiki and T₂ olive trees.

Keywords: Crop Water Stress Index, Infrared Thermometer, Non-Water Stress Baseline, Olive Tree.

* Corresponding Author's Email: Hooshmand_a@scu.ac.ir

بررسی وضعیت تنش آبی درختان زیتون با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه

عظیمه عسگری^۱، عبدالرحیم هوشمند^{۱*}، سعید برومندنسب^۱، شهره زیودار^۲

۱. گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۸/۹ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۱۱/۲۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۱/۳۰)

چکیده

هدف از این مطالعه ارزیابی قابلیت شاخص تنش آبی گیاه (Crop Water Stress Index, CWSI) حاصل از اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی درختان زیتون با استفاده از دماسنج مادون قرمز، در بررسی وضعیت تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری درخت زیتون بود. برای این منظور رابطه میان شاخص تنش آبی گیاه و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content, RWC) و رطوبت خاک (Soil Water Content, SWC) تعیین شد. تیمارهای آزمایشی شامل دو رقم زیتون (کرونیکی و T₂) و چهار رژیم آبیاری (آبیاری برای تأمین ۱۰۰، ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه) بود. نتایج نشان داد که رابطه‌ی خط مبنای بدون تنش در طول دوره‌ی پژوهش و همچنین در طول روز متغیر بود. تغییرات روزانه خط مبنای بدون تنش درختان زیتون عمدتاً به دلیل تغییر در عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش بود که بوسیله‌ی تغییرات زاویه‌ی رأس خورشید قابل توصیف است. پس از بررسی ارتباط میان کمبود فشار بخار آب در اتمسفر (Vapor Pressure Deficit, VPD) و اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا (T_c - T_a)، رابطه‌ی $r^2=0.99$ ، $T_c - T_a = 1.06 - 0.45 VPD$ برای خط مبنای بدون تنش درختان زیتون در ساعت ۱۲:۳۰ بعد از ظهر تعیین شد. شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون در رژیم‌های کم‌آبیاری نسبت به شرایط آبیاری کامل به صورت معنی‌دار، افزایش یافت. شاخص تنش آبی گیاه با شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ (کرونیکی: $r^2=0.82^{**}$; T₂: $r^2=0.80^{**}$) و درصد جرمی رطوبت خاک (کرونیکی: $r^2=0.66^{**}$; T₂: $r^2=0.69^{**}$) همبستگی معنی‌دار داشت. بنابراین، شاخص تنش آبی گیاه، شاخص مناسبی از وضعیت تنش آبی درختان زیتون کرونیکی و T₂ است.

واژه‌های کلیدی: خط مبنای بدون تنش، درخت زیتون، دماسنج مادون قرمز، شاخص تنش آبی گیاه.

مقدمه

خاص، افزایش تولید میوه و روغن زیتون را در پی داشته (Gomez-Rico *et al.*, 2006; Moriana *et al.*, 2003)؛ با این حال، اعمال سطح خاصی از تنش آبی سبب بهبود کیفیت روغن زیتون گردیده است (Berenguer *et al.*, 2006; Tovar *et al.*, 2002). بنابراین، بررسی تنش آبی درخت زیتون برای اعمال سطوح مشخصی از تنش، در مدیریت هر چه بهتر آبیاری و افزایش کمیت و کیفیت محصول مفید خواهد بود (Agam *et al.*, 2013).

روش‌های متفاوتی جهت تعیین تنش آبی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس اندازه‌گیری محتوای آب خاک، ویژگی‌های گیاه و شرایط جوی به منظور مدل‌سازی و یا محاسبه‌ی تبخیر-تعرق گیاه ارائه شده است (Cohen *et al.*, 2005). با این حال، محتوای آب خاک و تقاضای تبخیر اتمسفر به اندازه‌ی شاخص‌های گیاهی در تعیین وضعیت تنش آبی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری مؤثر نبوده‌اند (Candogan *et al.*, 2013). روش‌های گیاه مبنای، وضعیت تنش آبی گیاه را به صورت مستقیم و از طریق

زیتون (*Olea europaea* L.) یکی از درختان میوه‌ی بومی مناطق مدیترانه‌ای (Bacelar *et al.*, 2006) و مهم‌ترین محصول باغی جهان از نظر سطح زیر کشت است (Garcia-Tejero *et al.*, 2017). در سال‌های اخیر مصرف میوه و روغن زیتون در پی افزایش نگرانی برای زندگی سالم و طولانی‌گسترش یافته است و انتظار می‌رود که این روند در آینده نیز ادامه یابد (Fabbri, 2004). مواجهه هر چه بیشتر بخش کشاورزی با کمبود آب و خشکی شدید بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک در پی تغییرات اقلیمی و کاهش هر چه بیشتر منابع محدود آب، واقعیتی غیرقابل انکار است. در چنین شرایطی تولید زیتون، همچون سایر محصولات کشاورزی باید به شیوه‌ای انجام شود که حداکثر تولید به ازای هر واحد آب مصرفی حاصل گردد (Akuzzu *et al.*, 2013). مطالعات نشان داده‌اند که افزایش آبیاری‌ها تا سطحی

تنش آبی گیاه، باید درجه حرارت برگ و یا پوشش گیاهی نسبت به شرایط محیطی متغیر، نرمال شود. به منظور نرمال سازی دمای پوشش گیاهی جهت بررسی تنش آبی گیاه و برنامه ریزی آبیاری با استفاده از درجه حرارت برگ و پوشش گیاهی، شاخص های متفاوتی ارائه شده است. یکی از رایج ترین روش های نرمال سازی درجه حرارت نسبت به شرایط متغیر محیطی، استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) است که در اوایل سال ۱۹۸۰، توسط *Idso et al.* (1981) و *Jackson et al.* (1981) ارائه شد.

در مطالعات پیشین شاخص تنش آبی گیاه در بررسی وضعیت تنش آبی و برنامه ریزی آبیاری گیاهان متعدد مورد استفاده قرار گرفته است (*Mangus et al.*, 2016; *Candogan et al.*, 2005; *Cohen et al.*, 2013). با این حال، این شاخص به ندرت جهت بررسی وضعیت تنش آبی و برنامه ریزی آبیاری درختان استفاده شده و لازم است تا در شرایط اقلیمی خشک و نیمه خشک مورد ارزیابی قرار گیرد.

با توجه به ضرورت بررسی وضعیت تنش آبی گیاه و بهینه سازی برنامه آبیاری در حداکثر سازی مزایای استفاده از منابع محدود آب بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، در این مطالعه قابلیت شاخص تنش آبی گیاه در تعیین وضعیت تنش آبی و برنامه ریزی مناسب آبیاری درخت زیتون، بررسی شد.

مواد و روش ها

موقعیت جغرافیایی منطقه ی مورد مطالعه

این مطالعه، در باغ زیتون پژوهشی دانشکده ی کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی شهر اهواز و حاشیه ی غربی رود کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا، انجام شد. این باغ دارای درختان زیتون ۱۷ ساله با آرایش کاشت ۶×۵ متر و از ارقام زرد، دزفولی، میشن، کرونیک، ماری، بلیدی، روغنی ایرانی، ابوسطل، مصعابی، کنسروالیا، کاینتی، کاوی، فوجی، مانزانیا، خضیری، کایسی، T₂، T₅، T₇ و T₂₁ با ارتفاع ۶-۱/۵ متر است. نتایج بررسی ویژگی های خاک باغ زیتون، در جدول (۱) ارائه شده است.

اندازه گیری سطح برگ (*Maki et al.*, 2004)، هدایت روزنه ای برگ، پتانسیل آب و یا محتوای رطوبتی برگ (*Berni et al.*, 2003; *Pu et al.*, 2011; *Elsayed et al.*, 2009)، جریان شیره ای آوندی (*Fernandez et al.*, 2008) و قطر تنه (*Fernandez and Cuevas*, 2010) تعیین می کنند. تمامی این روش ها قابلیت بالایی در تعیین دقیق تنش آبی گیاه و زمان بندی آبیاری نشان داده اند (*Akuzzu et al.*, 2013; *Ben-Gal et al.*, 2009)، اما به طور کلی این روش ها مخرب، زمان بر، پرهزینه و نیازمند نیروی انسانی زیاد بوده و جهت تخمین تنش آبی گیاه در زمان واقعی مناسب نیستند (*Kim et al.*, 2011).

با توجه به ضرورت بررسی تنش آبی گیاهان جهت برنامه ریزی آبیاری و توسعه ی کشاورزی پایدار، توسعه ی روش های غیرمخرب، سریع، ساده و عملی برای ارزیابی تنش آبی گیاهان حائز اهمیت فراوان است (*Elsayed et al.*, 2015).

دمای برگ از سال ۱۹۶۰ به عنوان شاخصی از وضعیت تنش آبی گیاهان شناخته شده است (*Gates*, 1964; *Idso et al.*, 1981; *Jackson et al.*, 1982). در هنگام تعرق گیاه، انرژی رسیده به سطح برگ جهت تبخیر مورد استفاده قرار گرفته و بنابراین دمای برگ گیاه به کمتر از دمای هوا کاهش می یابد. با کاهش رطوبت خاک، جذب آب توسط ریشه ی گیاه کاهش یافته، تعرق کندتر شده و روزنه های گیاه به تدریج بسته می شوند. بنابراین تبادل گرمای نهان بین سطح برگ گیاه و اتمسفر، کاهش می یابد. در این شرایط، انرژی تابشی خورشید سبب افزایش دمای برگ گیاه خواهد شد (*Maes and Steppe*, 2012).

با توسعه ی دماسنج های مادون قرمز، این ابزارها به صورت گسترده جهت اندازه گیری دمای برگ و پوشش گیاهی به منظور تعیین وضعیت تنش آبی گیاهان مورد استفاده قرار گرفته اند. دماسنج های مادون قرمز دستی برای استفاده در سطح مزرعه، کاربردی، کم هزینه و ساده بوده و قادرند تا اطلاعات دمای برگ گیاه را به سرعت و با دقت نمایش دهند (*Akkuzu et al.*, 2013). تغییرات دمای برگ و یا پوشش گیاهی علاوه بر تنش آبی به شرایط محیطی چون تشعشع خالص خورشیدی، دمای هوا، رطوبت هوا و سرعت وزش باد، بستگی دارد (*Maes and Steppe*, 2012). بنابراین، جهت استفاده از دمای پوشش گیاهی در بررسی

جدول ۱- برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ زیتون

θ_{pwp}	θ_{fc}	pH گل اشباع	EC	pb	OC	تخلخل	بافت خاک	شن رس	شن	عمق خاک
($cm^3 cm^{-3}$)	($cm^3 cm^{-3}$)		($dS m^{-1}$)	($g cm^{-3}$)	(%)	(%)		(%)	(%)	(cm)
۱۲	۳۶	۷/۴۶	۵/۳۱	۱/۳۲	۲/۰۷	۵۰	لوم رسی شنی	۲۷	۴۵/۵	۰-۳۰
۱۲	۳۶	۷/۴۵	۶/۱۸	۱/۴۸	۱/۸۹	۴۴	لوم رسی شنی	۲۳	۵۳	۳۰-۶۰
۱۲	۳۶	۷/۲۳	۵/۳۲	۱/۵۰	۱/۱۰	۴۳	لوم رسی شنی	۲۵	۵۴/۵	۶۰-۹۰

طرح آزمایشی و تیمارهای آبیاری

۷۵ لیتر بر ساعت، فشار کارکرد ۷-۱/۵ بار، تنظیم کننده‌ی فشار، ایران دریپ، ایران) برای هر درخت، هر سه روز یکبار آبیاری شدند.

نیاز آبی و مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه

تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن-مانتیت (Allen et al., 1998) و به صورت دستی محاسبه شد. مقدار Kc از نشریه‌ی FAO-56 استخراج و جهت تطبیق با شرایط منطقه‌ی مورد مطالعه، تصحیح شد. سپس نیاز آبی گیاه (ETc) در طول فصل رشد تعیین شد. میانگین اطلاعات هواشناسی اهواز، مقدار تبخیر-تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه در طول دوره‌ی مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- میانگین اطلاعات هواشناسی اهواز، تبخیر-تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه در طول دوره مطالعه

ماه	دما (°C)		رطوبت نسبی (%)			بارش (mm)	سرعت وزش باد (m s ⁻¹)	ساعات آفتابی (h)	تبخیر-تعرق مرجع (mm day ⁻¹)	نیاز آبی گیاه (mm day ⁻¹)
	بیشینه	متوسط	کمینه	بیشینه	متوسط					
خرداد	۲۴	۴۹/۲	۳	۳۷/۵	۶۵	۰	۳/۹	۱۰/۸	۸/۴	۴/۸
تیر	۲۶/۹	۵۳/۰	۳	۳۹/۵	۵۷	۰	۳/۸	۱۱/۸	۹/۱	۵/۵
مرداد	۲۷/۹	۵۰/۰	۶	۳۹/۰	۳۸	۰	۴/۰	۱۱/۶	۸/۹	۵/۳
شهریور	۲۵/۰	۴۸/۲	۶	۳۷/۴	۹۲	۰	۲/۵	۱۰/۹	۷/۲	۴/۳
مهر	۱۹/۰	۴۵/۸	۵	۳۱/۷	۹۴	۰/۹	۲/۳	۹/۰	۵/۱	۳/۱
آبان	۱۲/۱	۳۴/۰	۲۱	۲۱/۸	۹۹	۳/۲	۲/۱	۶/۱	۲/۵	۱/۴
آذر	۷/۱	۲۶/۵	۳۰	۱۷/۱	۱۰۰	۳/۵	۱/۹	۵/۳	۱/۷	۰/۹

$$VPD = e_a^* - e_a = e_a^*(1 - RH) \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن RH رطوبت نسبی هوا، e_a فشار بخار آب در هوا (Kpa) و e_a^* فشار بخار اشباع آب در دمای هوا (Kpa) است. در نهایت با ترسیم اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا ($T_c - T_a$) در روزهای پس از آبیاری و در تیمار بدون تنش در مقابل کمبود فشار بخار آب در اتمسفر (VPD)، خط مبنای بدون تنش تعیین شد.

اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا روی خط مبنای بالای تنش همچنان که Jacson (1982) بیان کرد، پنج درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (Garcia-Tejero et al., 2017; Egae et al., 2017; Testi et al., 2008).

با مشخص شدن رابطه‌ی خط مبنای بدون تنش، شاخص تنش آبی گیاه، پس از اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی در تیمارهای آبیاری مختلف و همچنین دما و رطوبت نسبی هوا، یک روز پیش از آبیاری در ساعت ۱۴-۱۲ با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه شد (Idso et al., 1981; Jacson, 1982).

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ll} - (T_c - T_a)_{ul}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن CWSI، شاخص تنش آبی گیاه، ($T_c - T_a$)، اختلاف

این پژوهش از ابتدای خرداد ماه سال ۱۳۹۷ آغاز شد و تا پایان آذر ماه این سال، ادامه یافت. در این پژوهش، آزمایشی به صورت اسپلیت پلات (کرت یکبار خرد شده) در قالب طرح پایه‌ی بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار، دارای دو فاکتور رژیم آبیاری (فاکتور اصلی)؛ شامل چهار رژیم آبیاری، آبیاری کامل، که در آن درختان هر سه روز یکبار برای تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه، آبیاری می‌شدند و کم آبیاری با هدف تأمین ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه و ارقام زیتون (فاکتور فرعی)؛ شامل دو رقم زیتون، کرونیک و T_2 ، اجرا شد. درختان زیتون با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و با در نظر گرفتن یک بابلر (شدت جریان

اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی و محاسبه‌ی شاخص تنش آبی گیاه

به منظور اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی، دمای چندین برگ بالغ از هر درخت در چهار جهت جغرافیایی و ارتفاع ۲-۱/۵ متر با استفاده از دماسنج مادون قرمز مدل Kane-May, KM823 با قابلیت ثبت بازتاب‌های طیفی در محدوده ۱۴-۸ میکرومتر و دقت اندازه‌گیری $\pm 1^\circ C$ قرائت و میانگین آن‌ها به عنوان دمای پوشش گیاهی، در نظر گرفته شد.

جهت تعیین خط مبنای بدون تنش (Non Water Stress Baseline, NWSB) به روش Idso et al., (1981)، در روزهای پس از آبیاری، دمای پوشش گیاهی در تیمار شاهد (آبیاری کامل) با استفاده از دماسنج مادون قرمز، از ساعت ۸:۳۰ صبح تا ساعت ۱۵:۳۰ بعد از ظهر هر ساعت یکبار، قرائت شد. سپس با استفاده از اطلاعات هواشناسی دما و رطوبت نسبی هوای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک فرودگاه اهواز در روزهای یاد شده، فشار بخار آب اشباع (Murray, 1967) و سپس کمبود فشار بخار آب در اتمسفر (VPD) (Monteith, 1973) به ترتیب از روابط زیر تعیین شدند.

$$e_a^* = 0.6107 \times 10^{7.5 T_a / (237.3 + T_a)} \quad (\text{رابطه ۱})$$

و در فاصله‌ی ۰/۵ متری از تنه‌ی درختان، به روش جرمی تعیین شد.

تحلیل‌های آماری

وجود اختلاف معنی‌دار میان تیمارهای آبیاری مختلف برای دو رقم زیتون، پس از بررسی واریانس تمامی متغیرهای مورد مطالعه در طول دوره‌ی تحقیق، از طریق مقایسه‌ی میانگین متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد، بررسی شد. تمامی تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS9 انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس بیان‌گر وجود اختلاف معنی‌دار میان مقادیر رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ماه‌های تیر، مرداد، شهریور، مهر، آبان و آذر و همچنین به‌طور متوسط در طول دوره‌ی پژوهش بود (جدول ۳). بر اساس نتایج مقایسه‌ی میانگین رطوبت خاک در رژیم‌های متفاوت آبیاری، با افزایش شدت تنش مقدار رطوبت خاک، به تدریج کاهش یافته است (جدول ۴). بیش‌ترین میزان کمبود رطوبت خاک نسبت به تیمار شاهد، در رژیم‌های کم‌آبیاری برای تأمین ۸۵ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه مربوط به مرداد و شهریور ماه به ترتیب با مقدار حدود ۱۳ و ۲۵ درصد و در رژیم کم‌آبیاری برای تأمین ۷۰ درصد از نیاز آبی گیاه، مربوط به آبان ماه با مقدار حدود ۱۹ درصد بود. در حالی که، به‌طور متوسط در طول دوره‌ی پژوهش، این مقدار در تیمارهای آبیاری برای تأمین ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه به‌ترتیب در حدود ۱۰، ۱۷ و ۲۱ درصد بود.

میان دمای پوشش گیاهی و دمای هوا ($T_c - T_a$)_{II} (°C)، کم‌ترین مقدار مورد انتظار برای ($T_c - T_a$) در شرایطی که شدت تعرق گیاه بیشینه باشد و یا به‌عبارت دیگر اختلاف میان دمای پوشش گیاهی و دمای هوا روی خط مبنای بدون تنش (°C) و ($T_c - T_a$)_{III} بیش‌ترین مقدار مورد انتظار برای ($T_c - T_a$) در شرایط توقف کامل تعرق گیاه و یا اختلاف میان دمای پوشش گیاهی و دمای هوا روی خط مبنای بالای تنش (°C) است.

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ و رطوبت خاک

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (Relative Water Content, RWC)، به‌صورت ماهانه، ساعت ۱۱ الی ۱۲ صبح روزهایی که سایر اندازه‌گیری‌ها انجام شد، از برگ‌های جوان کاملاً توسعه یافته، به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد. برگ‌های جدا شده از هر درخت به‌طور جداگانه در کیسه‌های پلاستیکی و برای جلوگیری از تلفات آب، روی تکه‌های یخ قرار گرفته و به‌سرعت به آزمایشگاه منتقل و وزن تر آن‌ها اندازه‌گیری شد. برای محاسبه‌ی وزن اشباع، برگ‌ها به مدت ۴ ساعت در دمای اتاق و نور کم در آب مقطر غوطه‌ور شد. پس از آن نمونه‌ها به‌سرعت و با دقت، با کاغذ خشک‌کن، خشک و توزین شدند. در نهایت برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شد. سپس RWC طبق رابطه‌ی زیر (Schlemmer *et al.*, 2005) محاسبه شد.

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_s - W_d} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن W_f ، وزن تر برگ، W_d ، وزن خشک برگ و W_s ، وزن برگ در حالت اشباع است.

رطوبت خاک (Soil Water Content, SWC) در هر تیمار به‌صورت ماهانه در لایه‌ی سطحی خاک، در عمق ۲۰ سانتی‌متری

جدول ۳- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های آبیاری، رقم زیتون و برهمکنش آن‌ها بر رطوبت لایه‌ی سطحی خاک

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
تکرار	۳	۱۸/۱۸	۱۷/۶۵	۲۶/۵۶	۹/۶۹	۱۱/۹۱
رژیم آبیاری	۳	۱۸/۸۴ **	۱۲/۷۴ *	۲۰/۸۹ *	۱۶/۵۲ **	۲۸/۶۸ **
خطای عامل اصلی	۹	۰/۸۵	۰/۸۸	۱/۰۵	۰/۶۸	۱/۵۹
رقم	۱	۱/۸۹ ns	۰/۶۸ ns	۲/۱۹ ns	۶/۱۴ ns	۰/۰۶ ns
رقم × رژیم آبیاری	۳	۰/۵۷ ns	۱/۱۴ ns	۱/۸۳ ns	۱/۸۸ ns	۳/۳۸ ns
خطای عامل فرعی	۱۲	۲/۶۷	۲/۳۶	۴/۳۷	۱/۷۹	۱/۷۴
ضریب تغییرات		۱۱/۹۴	۱۴/۶۹	۱۵/۱۰	۸/۶۸	۷/۹۴

ns، * و ** به‌ترتیب بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۴- مقایسه میانگین رطوبت خاک در رژیم‌های متفاوت آبیاری

رژیم آبیاری	درصد جرمی رطوبت خاک					
	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
آبیاری کامل	۱۵/۵۲ ^a	۱۲/۱۴ ^a	۱۵/۹۳ ^a	۱۷/۲۳ ^a	۱۹/۱۵ ^a	۲۲/۵۸ ^a
۱۵٪ کم آبیاری	۱۴/۳۵ ^{ab}	۱۰/۶۰ ^{ab}	۱۳/۹۳ ^{ab}	۱۵/۸۵ ^a	۱۶/۸۸ ^b	۲۰/۵۳ ^b
۳۰٪ کم آبیاری	۱۲/۷۹ ^{bc}	۹/۹۵ ^b	۱۳/۴۹ ^b	۱۴/۳۰ ^b	۱۵/۶۰ ^b	۱۹/۳۰ ^b
۴۵٪ کم آبیاری	۱۲/۱۲ ^c	۹/۱۷ ^b	۱۲/۰۲ ^b	۱۴/۲۱ ^b	۱۴/۸۲ ^b	۱۸/۵۹ ^b

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند.

کاهش یافته است. به‌طور متوسط در کل طول دوره‌ی پژوهش، مقادیر محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون در رژیم‌های کم آبیاری نسبت به مقدار این شاخص در رژیم آبیاری کامل، به‌صورت معنی‌دار کمتر بود. افزایش شدت تنش آبی گیاه سبب کاهش هر چه بیشتر محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون شد. به‌طوری که مقدار این شاخص در رژیم آبیاری تأمین ۸۵ درصد از نیاز آبی گیاه نسبت به رژیم‌های آبیاری تأمین ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه به‌صورت معنی‌دار بیشتر بود. با این حال، مقدار این شاخص در دو رژیم آبیاری برای تأمین ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه تفاوت معنی‌دار نشان نداد.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، رقم زیتون و بر همکنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ (جدول ۵)، محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون به جز آذر ماه و به‌دلیل بارش باران تا پیش از این تاریخ، در سایر اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره و همچنین به‌طور متوسط در طول دوره پژوهش، تحت تأثیر رژیم‌های آبیاری قرار گرفت. در حالی که، مقدار این شاخص در هیچ یک از مراحل اندازه‌گیری و همچنین به‌طور متوسط در طول دوره‌ی تحقیق تحت تأثیر رقم درخت زیتون و بر همکنش رژیم آبیاری و رقم درخت زیتون قرار نگرفت.

بر اساس نتایج مقایسه‌ی میانگین (جدول ۶)، مقدار محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون، با افزایش شدت تنش آبی گیاه،

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر رژیم آبیاری، رقم زیتون و بر همکنش آن‌ها بر محتوای نسبی آب برگ

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
تکرار	۳	۱۷/۶۱	۱۹/۴۲	۱۶/۷۵	۵/۰۰	۶/۳۳	۲۰/۳۲
رژیم آبیاری	۳	۳۴/۳۲*	۱۴/۸۲**	۲۲/۳۵*	۱۸/۸۷**	۱۲/۶۵**	۹/۱۸ ^{ns}
خطای عامل اصلی	۹	۱/۸۹	۱/۸۰	۰/۷۸	۰/۹۰	۰/۳۴	۴/۰۰
رقم	۱	۳/۵۵ ^{ns}	۱۰/۹۷ ^{ns}	۱/۶۲ ^{ns}	۰/۱۵ ^{ns}	۰/۸۲ ^{ns}	۱/۴۵ ^{ns}
رقم × رژیم آبیاری	۳	۳/۸۹ ^{ns}	۰/۹۲ ^{ns}	۳/۵۵ ^{ns}	۲/۱۷ ^{ns}	۱/۲۸ ^{ns}	۲/۲۵ ^{ns}
خطای عامل فرعی	۱۲	۵/۲۵	۲/۴۲	۳/۹۸	۱/۸۰	۱/۱۵	۳/۸۶
ضریب تغییرات		۳/۴	۲/۵۴	۳/۱۰	۲/۰۸	۱/۶۴	۲/۸۴

ns، * و ** به ترتیب بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۶- مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون در رژیم‌های متفاوت آبیاری

تیمارها	محتوای نسبی آب برگ درخت زیتون (%)					
	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
رژیم آبیاری						
آبیاری کامل	۶۲/۹۹ ^a	۶۳/۱۶ ^a	۶۶/۲۱ ^a	۶۶/۶۱ ^a	۶۶/۷۸ ^a	۷۰/۰۴ ^a
۱۵٪ کم آبیاری	۶۳/۶۴ ^{ab}	۶۱/۳۲ ^b	۶۴/۴۴ ^a	۶۵/۱۹ ^{ab}	۶۵/۸۴ ^a	۶۹/۸۴ ^a
۳۰٪ کم آبیاری	۶۱/۲۶ ^{bc}	۶۰/۸۵ ^b	۶۳/۹۸ ^{ab}	۶۴/۰۴ ^{bc}	۶۴/۶۲ ^b	۶۸/۸۴ ^a
۴۵٪ کم آبیاری	۵۹/۶۱ ^c	۵۹/۹۲ ^b	۶۲/۱۵ ^b	۶۳/۰۴ ^c	۶۳/۹۴ ^b	۶۷/۷۱ ^a
رقم زیتون						
کرونیکی	۶۲/۴۵ ^a	۶۱/۹۰ ^a	۶۴/۴۲ ^a	۶۴/۷۹ ^a	۶۵/۴۶ ^a	۶۹/۳۲ ^a
T ₂	۶۱/۷۹ ^a	۶۰/۷۳ ^a	۶۳/۹۷ ^a	۶۴/۶۵ ^a	۶۵/۱۳ ^b	۶۸/۹۰ ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت معنی‌دار در

سطح ۵ درصد هستند.

تنش در طول روز تقریباً ثابت بوده و به صورت جزئی افزایش یافته است (از $0/52^{\circ}\text{C kPa}$ - در ساعت $8:30$ صبح تا $0/44^{\circ}\text{C kPa}$ - در ساعت $15:30$ بعد از ظهر).

تغییرات روزانه مشاهده شده در خط مبنای بدون تنش درختان زیتون رقم کرونیکی و T_2 در این مطالعه، پیش از این برای درختان پسته (Testi et al., 2008)، انگور (Bellvert et al., 2014) و همچنین زیتون (Egea et al., 2017) گزارش شده است. نتایج این مطالعات نشان داد که تغییرات روزانه خط مبنای بدون تنش اساساً تحت تأثیر تغییر در عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش بود؛ در حالی که، شیب خط مبنای بدون تنش تقریباً ثابت بوده است. بر اساس یافته‌های Jackson et al. (1981)، عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش، تابعی از مقاومت آبرودینامیکی در برابر انتقال بخار آب و تشعشع خالص خورشیدی بوده و بنابراین با افزایش زاویه رأس خورشیدی، افزایش و با افزایش سرعت وزش باد، کاهش می‌یابد.

در منطقه‌ی مورد مطالعه، تغییرات روزانه عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش در اثر سرعت وزش باد، غیر محتمل است، چرا که منطقه مورد مطالعه از نواحی باد خیز نبوده (در اکثر روزهای سال سرعت وزش باد کمتر از ۲ متر بر ثانیه است) و بر اساس نتایج Testi et al. (2008) اثر سرعت وزش باد کم تا متوسط بر خط مبنای بدون تنش، قابل چشم‌پوشی است.

در حالی که رابطه‌ی میان شیب خط مبنای بدون تنش و زاویه رأس خورشیدی معنی دار نبود، تغییرات روزانه مشاهده شده در عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش، همچنان که رابطه‌ی معنی دار ($r^2=0/6$) میان این پارامتر و زاویه رأس خورشیدی نشان می‌دهد، احتمالاً به تشعشع خورشید وابسته است (شکل ۳). هنگامی که ارتباط زاویه رأس خورشید و عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش در ساعات روز، برای دوره صبح و بعد از ظهر به صورت مجزا، مورد بررسی قرار گرفت، ارتباط بهتری میان این دو پارامتر، بویژه در ساعات بعد از ظهر مشاهده شد (شکل ۳).

رابطه‌ی خط مبنای بدون تنش درختان زیتون رقم کرونیکی و T_2 در ساعت $12:30$ به صورت $T_c-T_a=1.06-0.45 \text{ VPD}$, $r^2=0.99$ در مطالعات پیشین روابط متفاوتی از جمله $T_c-T_a=2.08-0.35 \text{ VPD}$, $r^2=0.67$ (Berni et al., 2009)، $T_c-T_a=2.5-0.36 \text{ VPD}$, $r^2=0.49$ (Egea et al., 2017)، $T_c-T_a=0.95-0.39 \text{ VPD}$, $r^2=0.49$ (Garcia-Tejero et al.,)

شکل (۲)، خط مبنای پایین تنش درختان زیتون رقم کرونیکی و T_2 و همچنین هر دو رقم زیتون راه، در ماه‌های مختلف و همچنین در کل دوره مطالعه نشان می‌دهد. بر این اساس، اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا مستخرج از درختان زیتون در شرایط بدون تنش (آبیاری کامل) در روزهای کاملاً آفتابی و بدون ابر با کمبود فشار بخار آب در اتمسفر در اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره و همچنین به صورت کلی در کل دوره مطالعه، رابطه‌ی خطی، منفی و معنی‌دار داشت ($r^2 < 0/98^{**}$ ، $r^2 < 0/64^{**}$).

برای هر دو رقم زیتون کرونیکی و T_2 ، مقادیر اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا در شرایط آبیاری کامل، با افزایش کمبود فشار بخار آب در اتمسفر، کاهش یافته است. باین حال، عرض از مبدأ و شیب خط مبنای بدون تنش در اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره‌ی مطالعه، متفاوت بود. این تفاوت در رابطه‌ی میان اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا و کمبود فشار بخار آب در اتمسفر به تغییر در شرایط آب و هوایی، بیلان انرژی پوشش گیاهی، زاویه رأس خورشید و جهت برگ گیاه بستگی دارد (Bellvert et al., 2015; Akuzzu et al., 2013).

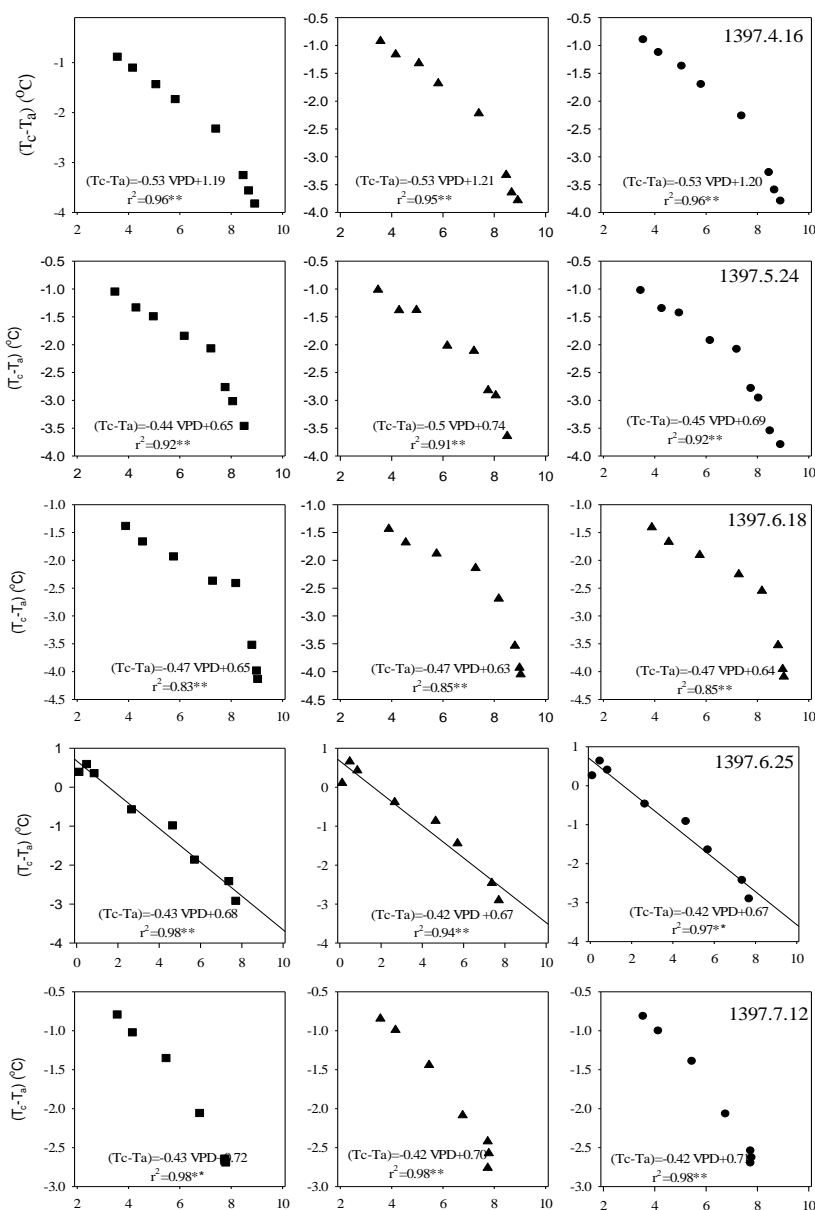
رابطه‌ی خط مبنای بدون تنش درختان زیتون رقم کرونیکی و T_2 در کل دوره‌ی مطالعه به ترتیب به صورت $T_c-T_a=0.81-0.47 \text{ VPD}$ ، و $T_c-T_a=0.8-0.47 \text{ VPD}$ ، $r^2=0.95$ و $r^2=0.96$ تعیین شد. ویژگی‌های عرض از مبدأ و شیب خط مبنای بدون تنش درختان زیتون در مطالعه حاضر با یافته‌های Akkuzu et al. (2013) برای خط مبنای بدون تنش درختان زیتون رقم ممسیک^۱ در سال‌های ۲۰۰۹ ($T_c-T_a=1.78-0.80 \text{ VPD}$)، و ۲۰۱۰ ($r^2=0.77$) و $(T_c-T_a=1.20-0.56 \text{ VPD}$, $r^2=0.65$)، تفاوت داشت.

پارامترهای عرض از مبدأ، شیب و ضریب تبیین خطوط مبنای بدون تنش در ساعات متفاوت روز در جدول (۷)، ارائه شده است. این پارامترها از بررسی رگرسیون ساده‌ی خطی میان مقادیر اختلاف دمای پوشش گیاهی و دمای هوا در برابر کمبود فشار بخار آب در اتمسفر، در ساعات متفاوت روز، تعیین شده است.

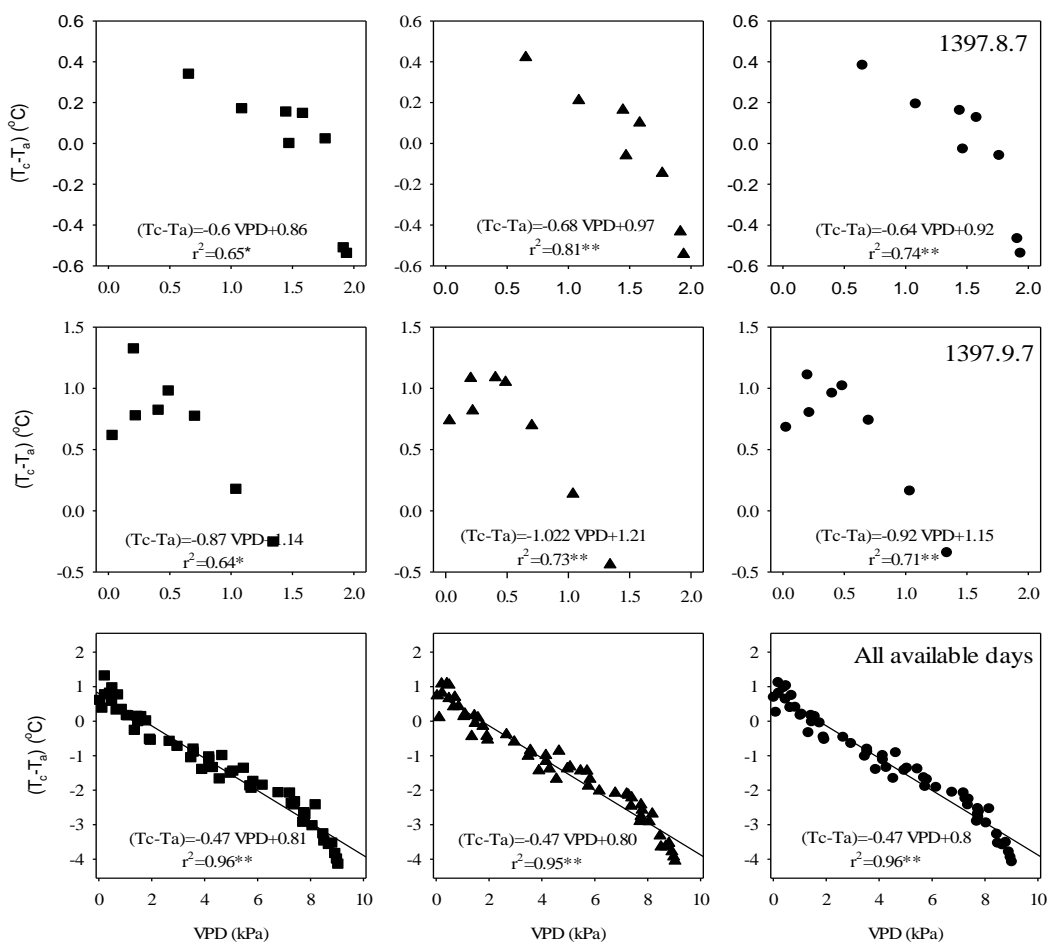
شیب و عرض از مبدأ خطوط مبنای بدون تنش در طول روز متغیر بود. عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش در اواسط روز بیش‌ترین مقدار بود ($1/05$ در ساعت $12:30$) و این مقدار برای صبح و بعد از ظهر کاهش یافت. به عبارت دیگر، عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش در طول صبح افزایش و در طول بعد از ظهر، کاهش یافته است. در حالی که، مقادیر شیب خطوط مبنای بدون

شیب خط مبنای بدون تنش درختان زیتون در ساعت ۱۲:۳۰ در مطالعه حاضر (۰/۴۵-) تقریباً مشابه آن چه توسط *Egea et al.* (2017) (۰/۳۵-)، *Garcia-Tejero et al.* (2017) (۰/۳۹-) و *Berni et al.* (2009) (۰/۳۶-) گزارش شد، بود. در حالی که، با شیب ارائه شده در تحقیق *Bellvart et al.* (2016) (۲/۰۵-) برای خط مبنای بدون تنش درختان زیتون رقم آرکونینا^۱ کاملاً متفاوت بود. عرض از مبدا خط مبنای بدون تنش (۱/۰۶) با نتایج ارائه شده توسط *Egea et al.* (2017) (۲/۵)، *Bellvart et al.* (2016) (۳/۹۷) و *Berni et al.* (2009) (۲/۰۸) متفاوت و تقریباً مشابه مقدار ارائه شده توسط *Garcia-Tejero et al.* (2017) (۰/۹۵) بود.

(2017) و $T_c - T_a = 3.97 - 2.05 \text{ VPD}$ (Belvart *et al.*, 2016) برای خط مبنای بدون تنش درختان زیتون ارائه شده است. یافته‌های پژوهش حاضر با نتایج ارائه شده توسط *Egea et al.* (2017) و *Berni et al.* (2009) مبنی بر شیب کم خط مبنای بدون تنش درختان زیتون مطابقت داشت. محققان بیان کردند که مقدار کم شیب خط مبنای بدون تنش به دلیل اندازه کوچک برگ درختان زیتون است که موجب ارتباط بیشتر آن‌ها با اتمسفر و در نتیجه بسته شدن روزنه‌های برگ در هنگام افزایش تقاضای تبخیر اتمسفر حتی در شرایط عدم محدودیت رطوبت خاک، می‌شود (Fernandez *et al.*, 1997).



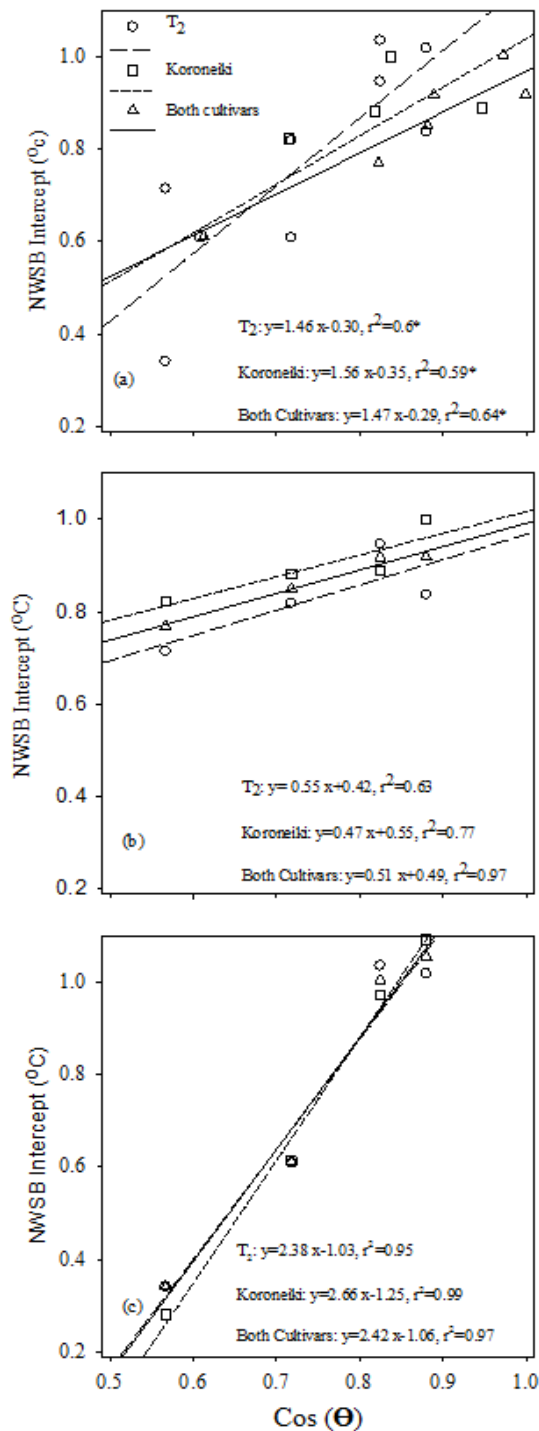
شکل ۱- خط مبنای بدون تنش (Non Water Stress Base-Line, NWSB) درخت زیتون رقم T₂ (■)، کرونیکي (▲) و هر دو رقم (●) در ماه‌های متفاوت و همچنین در طول دوره پژوهش



ادامه شکل ۱. خط مبنای بدون تنش (Non Water Stress Base-Line, NWSB) درخت زیتون رقم T₂ (■)، کرونیکی (▲) و هر دو رقم (●) در ماه‌های متفاوت و همچنین در طول دوره پژوهش

جدول ۷- ویژگی‌های خط مبنای بدون تنش (Non Water Stress Base-Line, NWSB) در ساعات متفاوت روز

ساعت	رقم زیتون	شیب	عرض از مبدأ	ضریب تبیین
	T ₂	-0.50	0.72	0.98**
8:30	کرونیکی	-0.53	0.82	0.98**
	هر دو رقم	-0.52	0.77	0.98**
	T ₂	-0.50	0.82	0.98**
9:30	کرونیکی	-0.52	0.88	0.99**
	هر دو رقم	-0.51	0.85	0.98**
	T ₂	-0.49	0.95	0.97**
10:30	کرونیکی	-0.46	0.89	0.97**
	هر دو رقم	-0.48	0.92	0.97**
	T ₂	-0.44	0.84	0.98**
11:30	کرونیکی	-0.46	1.0	0.98**
	هر دو رقم	-0.45	0.92	0.98**
	T ₂	-0.44	1.02	0.99**
12:30	کرونیکی	-0.45	1.09	0.99**
	هر دو رقم	-0.45	1.05	0.99**
	T ₂	-0.50	1.04	0.99**
13:30	کرونیکی	-0.49	0.97	0.98**
	هر دو رقم	-0.49	1.004	0.99**
	T ₂	-0.46	0.61	0.96**
14:30	کرونیکی	-0.47	0.61	0.97**
	هر دو رقم	-0.46	0.61	0.96**
	T ₂	-0.45	0.40	0.99**
15:30	کرونیکی	-0.43	0.28	0.98**
	هر دو رقم	-0.44	0.34	0.99**



شکل ۲- رابطه‌ی میان عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش (NWSB Intercept) و زاویه رأس خورشیدی در روزهای آفتابی برای دوره a: ساعت ۱۵:۳۰-۸:۳۰، b: ساعت ۱۲:۳۰-۸:۳۰ و c: ساعت ۱۲:۳۰-۱۵:۳۰

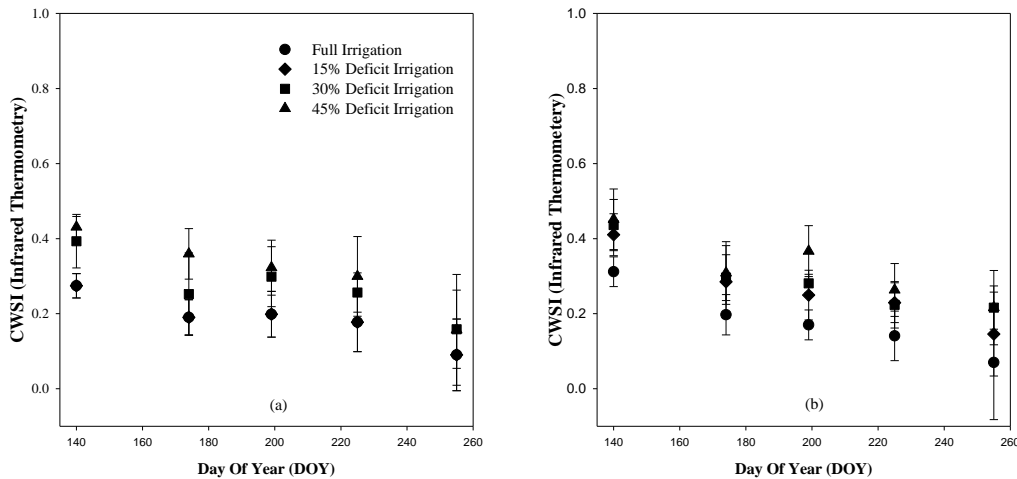
امر احتمالاً به دلیل پراکندگی اطلاعات خط مبنای بدون تنش بود (Egea *et al.*, 2017; Garcia-Tejero *et al.*, 2017; Bellvart *et al.*, 2015; Testi *et al.*, 2008).

مقادیر شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون در طول دوره پژوهش در محدوده ۰/۰۶- تا ۰/۵۹ متغیر بود. کمترین میزان شاخص تنش آبی درختان زیتون در شرایط بدون تنش (تیمار

شکل ۳)، مقادیر شاخص تنش آبی درختان زیتون که بر اساس اطلاعات خط مبنای بدون تنش حاصل از اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی در شرایط آبیاری کامل تعیین شد، را نشان می‌دهد. اگرچه فرض می‌شود که مقدار شاخص تنش آبی گیاه در محدوده‌ی صفر تا یک تغییر نماید، با این حال، مقادیر منفی نیز در شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون مشاهده شد (شکل ۳). این

به ترتیب در محدوده ۰/۰۶ تا ۰/۳۲ و ۰/۰۶ تا ۰/۳۷ متغیر بود. بر اساس نتایج تجزیه واریانس، مقادیر شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون جز آذر ماه در سایر اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره‌ی پژوهش و همچنین به‌طور متوسط در طول دوره پژوهش، تحت تأثیر رژیم آبیاری قرار گرفت (جدول ۸)، به‌گونه‌ای که، مقدار این شاخص در تیمارهای کم‌آبیاری نسبت به تیمار آبیاری کامل افزایش یافت (جدول ۹).

شاهد) مشاهده شد. باین‌حال، مقدار شاخص تنش آبی گیاه در شرایط آبیاری کامل و بدون محدودیت رطوبت خاک، عمدتاً بیش از صفر بود که ممکن است به دلیل حساسیت بالای این پارامتر به شرایط آب و هوایی و بویژه تشعشع خورشیدی (Agam et al., 2013) و همچنین به دلیل ساختار درختان (Gonzalez-Dugo et al., 2014) باشد. شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون رقم کرونیک و T₂ در شرایط آبیاری کامل در طول دوره پژوهش



شکل ۴: روند تغییرات شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) تعیین شده در اندازه‌گیری‌های متفاوت در طول دوره پژوهش (DOY) در تیمارهای آبیاری متفاوت و برای دو رقم زیتون a: کرونیک و b: T₂

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر رژیم‌های متفاوت آبیاری، رقم زیتون و بر همکنش آن‌ها بر شاخص تنش آبی گیاه

منابع	درجه آزادی	میانگین مربعات				
		تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان
تکرار	۳	۲/۰ × ۱۰ ^{-۲}	۳/۱ × ۱۰ ^{-۲}	۱/۸ × ۱۰ ^{-۲}	۲/۸ × ۱۰ ^{-۲}	۷/۰ × ۱۰ ^{-۲}
رژیم آبیاری	۳	۳/۳ × ۱۰ ^{-۲*}	۲/۶ × ۱۰ ^{-۲*}	۴/۱ × ۱۰ ^{-۲*}	۲/۱ × ۱۰ ^{-۲*}	۲/۰ × ۱۰ ^{-۲*}
خطای عامل اصلی	۹	۳/۵ × ۱۰ ^{-۳}	۲/۹ × ۱۰ ^{-۳}	۲/۷ × ۱۰ ^{-۳}	۳/۳ × ۱۰ ^{-۳}	۱/۳ × ۱۰ ^{-۳}
رقم	۱	۱/۲ × ۱۰ ^{-۲ns}	۵/۶ × ۱۰ ^{-۲ns}	۱/۷ × ۱۰ ^{-۲ns}	۲/۰ × ۱۰ ^{-۲ns}	۵/۶ × ۱۰ ^{-۲ns}
رقم × رژیم آبیاری	۳	۳/۵ × ۱۰ ^{-۴ns}	۳/۶ × ۱۰ ^{-۳ns}	۳/۹ × ۱۰ ^{-۳ns}	۳/۱ × ۱۰ ^{-۳ns}	۳/۰ × ۱۰ ^{-۳ns}
خطای عامل فرعی	۱۲	۲/۵ × ۱۰ ^{-۳}	۵/۸ × ۱۰ ^{-۳}	۵/۰ × ۱۰ ^{-۳}	۲/۹ × ۱۰ ^{-۳}	۹/۵ × ۱۰ ^{-۳}
ضریب تغییرات		۱۳/۰	۲۸/۵	۲۷/۳	۲۴/۳	۶۵/۶

ns, * و ** به ترتیب بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد است.

جدول ۹- مقایسه میانگین شاخص تنش آبی درختان زیتون در رژیم‌های متفاوت آبیاری

تیمارها	شاخص تنش آبی درخت زیتون				
	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
رژیم آبیاری					
آبیاری کامل	۰/۲۹۳ ^b	۰/۱۹۴ ^b	۰/۱۸۴ ^c	۰/۱۵۹ ^c	۰/۰۸۰ ^a
۱۵٪ کم‌آبیاری	۰/۳۸۴ ^a	۰/۲۶۸ ^{ab}	۰/۲۲۰ ^{cb}	۰/۲۰۸ ^{bc}	۰/۱۴۱ ^a
۳۰٪ کم‌آبیاری	۰/۴۱۵ ^a	۰/۲۷۴ ^{ab}	۰/۲۹۰ ^{ab}	۰/۲۴۰ ^{ab}	۰/۱۸۷ ^a
۴۵٪ کم‌آبیاری	۰/۴۴۱ ^a	۰/۳۳۴ ^a	۰/۳۴۵ ^a	۰/۲۸۱ ^a	۰/۱۸۷ ^a
رقم زیتون					
کرونیک	۰/۳۶۴ ^a	۰/۲۶۳ ^a	۰/۲۵۲ ^a	۰/۲۳۰ ^a	۰/۱۳۵ ^a
T ₂	۰/۴۰۳ ^a	۰/۲۷۲ ^a	۰/۲۶۷ ^a	۰/۲۱۴ ^a	۰/۱۶۳ ^a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون و برای هر عامل آزمایشی، بر اساس آزمون LSD، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد هستند.

که شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون، حاصل از اندازه‌گیری دمای برگ هر دو قسمت بالایی (ارتفاع ۲/۵ متر از سطح خاک) و پایینی (ارتفاع ۱/۵ متر از سطح خاک) درختان در ساعت ۱۲:۳۰، با شاخص درصد حجمی رطوبت خاک بویژه در لایه‌های ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر سطحی خاک، ارتباط خوبی داشت. با این حال Ben-Gul *et al.* (2009) بیان کردند که همبستگی میان شاخص تنش آبی گیاه درختان زیتون و رطوبت خاک، کم بود. در تأیید نتایج مطالعه‌ی حاضر، نتایج مطالعه‌ی Elsayed *et al.* (2017) نیز بیان‌گر وجود ارتباط منفی و معنی‌دار شاخص‌های حرارتی با شاخص محتوای نسبی آب برگ گندم در طول سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۴ بود.

ارتباط خوب میان شاخص تنش آبی گیاه و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ و درصد جرمی رطوبت خاک، بیان‌گر امکان استفاده از شاخص تنش آبی گیاه در تعیین وضعیت تنش آبی گیاه و تعیین برنامه‌ی آبیاری است.

جدول (۱۰) ضریب تبیین، شیب و عرض از مبدأ رابطه‌ی خطی میان شاخص تنش آبی گیاه و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ و رطوبت خاک در اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره مطالعه را نشان می‌دهد.

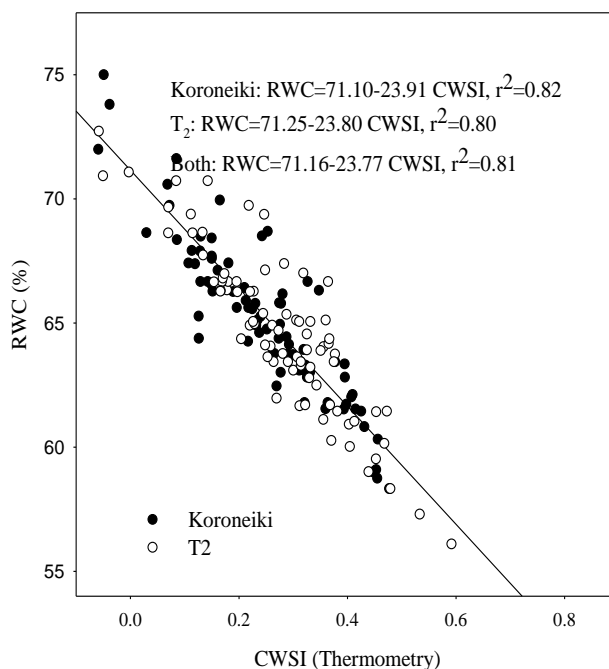
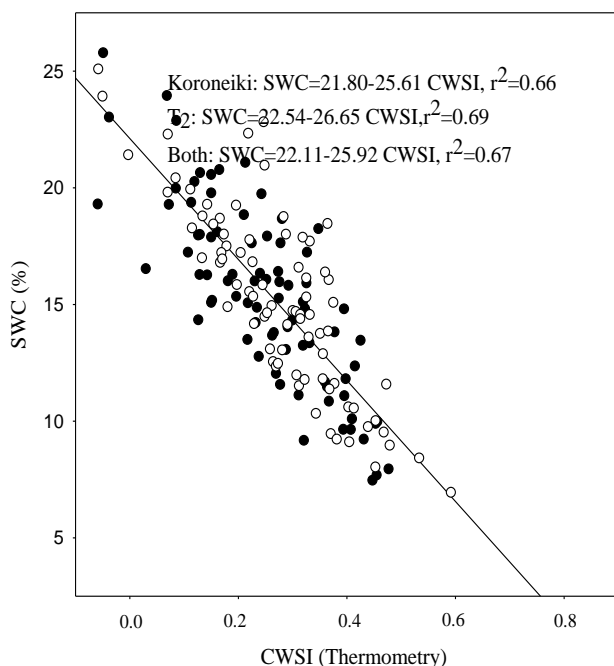
اگر چه شاخص تنش آبی گیاه ارتباط خوبی با شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ و درصد جرمی رطوبت خاک داشت، اما همبستگی میان این شاخص‌ها در طول دوره پژوهش متغیر بود. این تغییرات احتمالاً به دلیل تغییر در شرایط محیطی اتفاق افتاده است (Elsayed *et al.*, 2017). نتایج بررسی همبستگی شاخص تنش آبی گیاه و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ و رطوبت خاک، در تمامی اندازه‌گیری‌های انجام شده در طول دوره‌ی پژوهش (شکل ۵)، بیان‌گر همبستگی منفی و معنی‌دار این شاخص با شاخص محتوای نسبی آب برگ (کرونیکی: $r^2=0/82^{**}$ و T_2 : $r^2=0/80^{**}$) و درصد جرمی رطوبت خاک (کرونیکی: $r^2=0/66^{**}$; T_2 : $r^2=0/69^{**}$) بود.

نتایج مطالعه‌ی Garcia-Tejero *et al.* (2017) نیز نشان داد

جدول ۱۰- ضریب تبیین (r^2)، شیب (a) و عرض از مبدأ (b) رابطه‌ی خطی میان شاخص تنش آبی گیاه و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ درخت زیتون و

درصد جرمی رطوبت خاک

رقم	شاخص	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
		-۲۱/۵۱	-۲۴/۹۷	-۱۸/۹۴	-۱۴/۹۷	-۱۷/۳۸
	a					
	RWC	۶۹/۷۳	۷۱/۰۰	۶۹/۴۳	۶۸/۸۹	۷۱/۶۷
	r^2	۰/۸۰**	۰/۹۰**	۰/۸۸**	۰/۶۵**	۰/۶۹**
	کرونیکی					
	a	-۲۲/۹۷	-۲۱/۸۹	-۱۸/۴۳	-۱۹/۱۴	-۱۰/۱۶
	b	۱۸/۹۸	۱۹/۸۷	۲۰/۴۹	۲۱/۰۵	۲۱/۲۸
	SWC	۰/۷۲**	۰/۷۶**	۰/۷۳**	۰/۳۸*	۰/۲۶*
	r^2					
	a	-۲۴/۶۱	-۲۲/۴۰	-۱۸/۴۴	-۱۶/۲۵	-۱۳/۳۶
	b	۷۰/۶۴	۷۰/۰۰	۶۹/۸۱	۶۸/۶۱	۷۱/۰۶
	RWC	۰/۷۸**	۰/۸۲**	۰/۸۳**	۰/۷۵**	۰/۷۰**
	r^2					
	T_2					
	a	-۱۸/۵۷	-۲۷/۶۲	-۱۶/۳۰	-۱۷/۷۹	-۱۱/۸۰
	b	۱۷/۷۹	۲۱/۰۸	۱۹/۳۱	۲۰/۳۸	۲۲/۵۱
	SWC	۰/۷۸**	۰/۸۴**	۰/۷۱**	۰/۶۷**	۰/۴۹**
	r^2					
	a	-۲۳/۴۳	-۲۳/۸۹	-۱۸/۵۳	-۱۵/۲۱	-۱۵/۳۹
	b	۷۰/۲۹	۷۰/۵۹	۶۹/۵۳	۶۸/۶۷	۷۱/۴۰
	RWC	۰/۸۰**	۰/۸۶**	۰/۸۴**	۰/۶۶**	۰/۶۸**
	r^2					
	هر دو رقم					
	a	-۲۰/۱۲	-۲۴/۴۹	-۱۷/۷۰	-۱۸/۳۵	-۱۰/۵۷
	b	۱۸/۱۸	۲۰/۳۹	۲۰/۰	۲۰/۶۹	۲۱/۸۲
	SWC	۰/۷۲**	۰/۷۹**	۰/۷۰**	۰/۴۵**	۰/۳۳**
	r^2					



شکل ۴- مدل رگرسیون خطی میان شاخص تنش آبی گیاه و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون و رطوبت خاک در طول دوره پژوهش

بدون تنش جهت تعیین وضعیت تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری در هر منطقه و برای هر وارسته‌ی گیاهی از طریق پژوهش‌های بلند مدت، تعیین گردد. شاخص تنش آبی گیاه با شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون و درصد جرمی رطوبت خاک، ارتباط معنی‌دار داشت. وجود رابطه‌ی معنی‌دار میان شاخص تنش آبی گیاه مستخرج دمای پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده به روش ترمومتری و شاخص‌های محتوای نسبی آب برگ و رطوبت خاک، این فرضیه را که شاخص تنش آبی گیاه می‌تواند شاخصی مناسب از وضعیت تنش آبی گیاه باشد، تأیید می‌نماید. به‌طور کلی این نتایج امکان برنامه‌ریزی دقیق آبیاری بویژه در شرایط کمبود آب را از طریق ترکیب اطلاعات بدست آمده از سیستم آب-خاک-گیاه شامل: اطلاعات هواشناسی (دما و کمبود فشار بخار آب در اتمسفر)، رطوبت خاک و یا ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه از جمله محتوای نسبی آب برگ و دمای پوشش گیاهی، نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

خط مبنای بدون تنش (NWSB) درختان زیتون رقم کرونیکی و T₂ که در تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) مورد استفاده قرار می‌گیرد، در طول دوره‌ی پژوهش ثابت نبود. این تغییرات احتمالاً تحت تأثیر تغییرات آب و هوایی در طول دوره‌ی پژوهش، اتفاق افتاد. رابطه‌ی خط مبنای بدون تنش درختان زیتون رقم کرونیکی و T₂، در طول روز نیز، متغیر بود. تغییرات رابطه‌ی خط مبنای بدون تنش در ساعات روز، عمدتاً به‌دلیل تغییر عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش تحت تأثیر تغییرات زاویه‌ی رأس خورشیدی بود. بطوری که با افزایش زاویه رأس خورشید، عرض از مبدأ خط مبنای بدون تنش افزایش یافت. در حالی که، شیب خط مبنای بدون تنش در طول روز تقریباً ثابت بود. از این رو، با توجه به تغییرات خط مبنای بدون تنش درختان زیتون در طول روز و همچنین در طول فصل، لازم است رابطه‌ی دقیق خط مبنای

REFERENCES

- Agam, N., Cohen, Y., Berni, J.A.J., Alchanatis, V., Cool, D., Dag, A., Yermiyahu, U. and Ben-Gal, A. (2013). An insight to the performance of crop water stress index for olive trees. *Agricultural Water Management*, 118, 79-86.
- Akkuzu, E., Kaya, U., Çamoğlu, G., Mengü, G.P. and Aşık, S. (2013). Determination of Crop Water Stress Index and Irrigation Timing on Olive Trees Using a Handheld Infrared Thermometer. *Irrigation and drainage*, ASCE, 139, 728-737.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 56, FAO, Rome, Italy, pp. 300.
- Bellvert, J., Zarco-Tejada, P.J., Fereres, E. and Girona, J. (2014). Mapping crop water stress index in a 'Pinot-noir' vineyard: comparing ground measurements with thermal remote sensing imagery from an unmanned aerial vehicle. *Precision Agriculture*, 15, 361-376.
- Ben-Gal, A., Agam, N., Alchanatis, V., Cohen, Y.,

- Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Sprintsin, M. and Dag, A. (2009). Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery. *Irrigation Science*, 27, 367-376.
- 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, 427-432.
- Berni, J.A.J., Zarco-Tejada, P.J., Sepulcre-Canto, G., Fereres, E. and Villalobos, F. (2009). Mapping canopy conductance and CWSI in olive orchards using high resolution thermal remote sensing imagery. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2380-2388.
- Candogan, B.N., Sincik, M., Buyukcangaz, H., Demirtas, C., Goksoy, A.T., and Yazgan, S. (2013). Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max (L.) Merr.*] In sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 118, 113-121.
- Cohen, Y., Alchanatis, V., Meron, M., Saranga, Y. and Tsipris, J. (2005). Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. *Journal of Experimental Botany*, 56 (417), 1843-1852.
- Egea, G., Padilla-Diaz, C.M., Martinez-Guanter, J., Fernandez, J.E., and Perez-Ruiza, M. (2017). Assessing a crop water stress index derived from aerial thermal imaging and infrared thermometry in super-high density olive orchards. *Agricultural Water Management*, 187, 210-221.
- Elsayed, S., Elhoweity, M., Ibrahim, H.H., Dewir, Y.H., Migdadi, H.M. and Schmidhalter, U. (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 189, 98-110.
- Elsayed, S., Elhoweity, M. and Schmidhalter, U. (2015). Normalized difference spectral indices and partial least squares regression to assess the yield and yield components of peanut. *Australian Journal of Crop Science*, 9, 976-986.
- Elsayed, S., Mistele, B. and Schmidhalter, U. (2011). Can changes in leaf water potential be assessed spectrally? *Functional Plant Biology*, 38, 523-533.
- Fabbri, A. (2004). *Olive propagation manual*, CSIRO, Collingwood, Victoria.
- Fernandez, J.E. and Cuevas, M.V. (2010). Irrigation scheduling from stem diameter variations: a review. *Agriculture forest meteorology*, 150 (2), 135-151.
- Fernandez, J.E., Green, S.R., Caspari, H.W., Diaz-Espejo, A. and Cuevas, M.V. (2008). The use of sap flow measurements for scheduling irrigation in olive, apple and Asian pear trees and in grapevines. *Plant and Soil*, 305, 91-104.
- Fernandez, J.E., Moreno, F., Giron, I.F. and Blazquez, O.M. (1997). Stomatal control of water use in olive tree leaves. *Plant and Soil*, 190, 179-192.
- Garcia-Tejero, I.F., Hernandez, A., Padilla-Diaz, C.M., Diaz-Espejo, A. and Fernandez, J.E., (2017). Assessing plant water status in a hedgerow olive orchard from thermography at plant level. *Agricultural Water Management*, 188, 50-60.
- Gates, D.M. (1964). Leaf temperature and transpiration. *Agronomy Journal*. 56, 273-277.
- Gomez-Rico, A., Salvador, M.D., La Greca, M. and Fregapane, G. (2006). Phenolic and volatile compounds of extra virgin olive oil (*Olea europaea L. Cv. Cornicabra*) with regards to fruit ripening and irrigation management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54, 7130-7136.
- Gonzalez-Dugo, V., Zarco-Tejada, P.J. and Fereres, E. (2014). Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agriculture and forest meteorology*, 198 -199, 94-104.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., Pinter, P.J., Reginato, R.J. and Hatfield, J.L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, 45-55.
- Jackson, R.D. (1982). Canopy temperature and crop water stress. *Advances in irrigation*, 1, 43-85.
- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J. and Pinter, P.J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17, 1133-1138.
- Kim, Y., Glenn, D.M., Park, J., Ngugi, H.K. and Lehman, B.L. (2011). Hyperspectral image analysis for water stress detection of apple trees. *Computers and Electronics in Agriculture*, 77, 155-160.
- Maes, W.H. and Steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4671-4712.
- Maki, M., Ishihara, M. and Tamura, M. (2004). Estimation of leaf water status to monitor the risk of forest fires by using remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 90, 441-450.
- Mangus, D.L, Sharda, A. and Zhang, N. (2016). Development and evaluation of thermal infrared imaging system for high spatial and temporal resolution crop water stress monitoring of corn within a greenhouse. *Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 149-159.
- Monteith, J.L. (1973). *Principles of Environmental Physics*. Edward Arnold, London.
- Moriana, A., Orgaz, F., Fereres, E. and Pastor, M. (2003). Yield responses of a mature olive orchard to a water deficits. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 128, 425-431.
- Murray, F.W. (1967). On the computation of saturation vapor pressure. *Journal of Applied Meteorology*, 6, 203-204.
- Pu, R., Ge, S., Kelly, N. and Gong, P. (2003). Spectral absorption features as indicators of water status in coast live oak (*Quercus Agrifolia*) leaves. *International Journal of Remote Sensing*, 24, 1799-1810.

- Testi, L., Goldhamer, D.A., Iniesta, F. and Salinas, M. (2008). Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*, 26, 395-405.
- Tovar, M.J., Romero, M.P., Girona, J. and Motilva, M.J. (2002). L-Phenylalanine ammonia-lyase activity and concentration of phenolics in developing olive (*Olea europaea* L. cv *Arbequina*) fruit grown

- under different irrigation regimes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82, 892-898.
- Schlemmer, M.R., Francis, D.D., Shanahan, J.F. and Schepers, J.S. (2005). Remotely measuring chlorophyll content in corn leaves with differing nitrogen levels and relative water content. *Agronomy Journal*, 97, 106-112.