

Evaluation of the Capability of Spectral Water Indices for Assessing Water stress in Olive Tree

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

1. Irrigation and drainage department, Water science faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Horticulture science department, Agriculture faculty, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: July. 19, 2019- Revised: Aug. 13, 2019- Accepted: Aug. 24, 2019)

ABSTRACT

Spectrometric measurements have the potential for fast and non-destructive measurements of plant water stress. The aim of this work was to investigate the ability of several spectral water indices, including water index (WI), normalized spectral water indices 1-5 (NWI 1-5), and normalized water index based on wavelengths in 960 and 940 nm (NWI 960-940) for detection of water stress in olive trees. The experimental treatments involved two olive cultivars (Koroneiki and T₂) and four water regimes (100%, 85%, 70%, and 55% of crop water requirement). Results showed that the olive trees in different water supplies 85%, 70%, and 55% of ET_c were subjected to soil moisture deficit equal to 11, 15, and 20%, respectively, as compared to soil moisture of control treatment. Because of the high resistance of olive trees to water stress, water reduction at levels of 15, 30, and 45 percent did not have significant effects on spectral indices. However, spectral indices were closely and significantly linear associated with relative water content of the crop leaf ($0.26^* < r^2 < 0.76^{**}$). Among all tested water spectral indices, NWI-2 showed the least consistent associations with relative water content of the leaf (ranging from 1–23% less than the ones in other tested indices). Based on the average amount of spectral indices and relative water content during the study period, NWI4, NWI5, NWI1, WI, NWI960-940, NWI3, and NWI2 showed a stronger relationship with the relative water content of olive leaves, respectively. In conclusion, spectral reflectance indices, WI, NWI 1-5, and NWI 960-940, could be useful for fast and non-destructive estimating of plant water stress.

Keywords: Spectrometry, Spectral Index, Plant Water Stress, Relative Water Content, Olive Tree.

ارزیابی قابلیت شاخص‌های طیفی در بررسی تنش آبی درخت زیتون

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 ارسال: ۱۳۹۸/۴/۲۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۵/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۲)

چکیده

طیف‌سنجی، امکان بررسی سریع و غیرمخرب وضعیت تنش آبی گیاه را فراهم می‌نماید. هدف از این مطالعه ارزیابی قابلیت چندین شاخص طیفی از جمله شاخص آب (WI)، شاخص نرمال آب ۱-۵ (NWI 1-5) و شاخص نرمال آب بر اساس انعکاس در طول موج‌های ۹۶۰ و ۹۴۰ نانومتر (NWI 960-940)، در بررسی وضعیت تنش آبی درخت زیتون بود. 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 درختان زیتون در تیمارهای متفاوت آبیاری برای تأمین ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه به‌طور متوسط نسبت به تیمار شاهد، به ترتیب در معرض حدود ۱۱، ۱۵ و ۲۰ درصد کمبود آب خاک، قرار داشتند. به دلیل مقاومت بالای درخت زیتون در برابر تنش آبی، کم آبیاری در سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد، تأثیر معنی‌داری در مقدار شاخص‌های طیفی مورد مطالعه نداشت. با این حال شاخص‌های طیفی با شاخص محتوای نسبی آب برگ گیاه، ارتباط خطی نزدیک و معنی‌دار داشت ($r^2 < 0.76^{**}$ ، $r^2 < 0.26^{**}$). به‌طور کلی شاخص طیفی نرمال آب NWI2 کمترین ضریب تبیین را با شاخص محتوای نسبی آب برگ در طول اندازه‌گیری‌ها نشان داد (۲۳-۱ درصد کمتر از سایر شاخص‌های مورد مطالعه). بر اساس مقدار متوسط شاخص‌های طیفی و شاخص رطوبت نسبی آب برگ در طول دوره‌ی تحقیق، شاخص‌های طیفی NWI4، NWI5، NWI1، WI، NWI960-940، NWI3 و NWI2، به ترتیب رابطه‌ی بهتری با شاخص محتوای نسبی آب برگ زیتون نشان دادند. در نهایت می‌توان بیان کرد که شاخص‌های طیفی WI، NWI1-5 و NWI960-940 می‌توانند جهت بررسی سریع و غیرمخرب وضعیت تنش آبی درخت زیتون، مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: طیف‌سنجی، شاخص طیفی، تنش آبی گیاه، محتوای نسبی آب برگ، درخت زیتون.

مقدمه

فزاینده‌ای رو به گسترش است (Richards *et al.*, 2010). در چنین شرایطی توسعه‌ی کشاورزی آبی تنها با صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق بهبود مدیریت آبیاری و افزایش بهره‌وری آب و یا به عبارت دیگر افزایش تولید به ازاء هر واحد آب مصرفی، امکان‌پذیر است (Feres *et al.*, 2011). با این حال تعیین رابطه‌ی دقیق میزان آب مصرفی و عملکرد محصول، نیازمند دانش جامع در زمینه‌ی پاسخ گیاهان به تنش آبی و بهینه‌سازی برنامه‌ی آبیاری است (Geerts and Raes, 2009).

روش‌های متفاوتی جهت تعیین تنش آبی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس اندازه‌گیری ویژگی‌های خاک، گیاه و شرایط جوی ارائه شده‌اند (Cohen *et al.*, 2005). سنجش رطوبت خاک یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در تصمیم‌گیری‌های آبیاری است. با این حال میزان رطوبت خاک به شرایط محل اندازه‌گیری، وابسته بوده و به دلیل شرایط ناهمگن

کشاورزی آبی با تأمین ۴۰ درصد از مواد غذایی جهان از تنها ۲۰ درصد اراضی کشاورزی تحت کشت آبی، نقش به‌سزایی در تأمین امنیت غذایی جهان، ایفا می‌نماید (Garces-Restrepo *et al.*, 2007). با این حال به دلیل وقوع خشک‌سالی‌های پی در پی ناشی از تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر و همچنین افزایش تقاضای آب و رقابت در بخش‌های شهری، صنعت و محیط زیست که موجب افزایش فشار بی‌سابقه بر منابع محدود آب گردیده، این بخش با عدم اطمینان قابل توجهی در تأمین آب روبرو است (DeJonge *et al.*, 2015).

کمبود آب اصلی‌ترین عامل محدودکننده‌ی تولید در کشاورزی است که در بسیاری از مناطق و بویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که با پتانسیل بالای تبخیر و بارش کم و بسیار پراکنده در طول فصل رشد گیاه شناخته می‌شوند، به‌طور

پتانسیل بالایی در تعیین محتوای آب برگ و پوشش سبز گیاه نشان داده‌اند.

اگرچه شاخص‌های طیفی متعددی بر اساس طول موج‌های مختلف به این منظور ارائه شده، با این حال صحت این شاخص‌ها در شرایط مزرعه به ندرت مورد ارزیابی قرار گرفته است (Sims and Gamon, 2003).

زیتون درختی همیشه سبز و مقاوم به خشکی با نام علمی *Olea europaea L*، از خانواده Oleaceae و 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 با افزایش تقاضای میوه و روغن زیتون به دلیل ارزش غذایی بالای آن و همچنین با توجه به مقاومت بالای درخت زیتون در برابر تنش‌های محیطی، کاشت درختان زیتون در مناطق مختلف ایران، گسترش یافته است.

بهینه‌سازی کمیت و کیفیت زیتون، نیازمند مدیریت دقیق آب است. چرا که افزایش آبیاری‌ها تا سطحی خاص سبب افزایش عملکرد محصول خواهد شد، اما اعمال سطح خاصی از تنش سبب بهبود کیفیت روغن زیتون می‌شود. بنابراین بررسی تنش آبی درخت زیتون برای اعمال سطوح مشخصی از تنش آبی، در مدیریت هرچه بهتر آبیاری و افزایش کیفیت محصول مفید خواهد بود (Agam et al., 2013). بر اساس نتایج تحقیق Marino et al. (2014) شاخص‌های طیفی می‌توانند ابزارهای مناسبی برای پیش‌بینی وضعیت تنش آبی درخت زیتون باشند.

پژوهش حاضر با هدف تعیین قابلیت چندین شاخص طیفی شامل WI، NWI-5 و NWI 960-940 در بررسی وضعیت تنش آبی درخت زیتون در شرایط مزرعه انجام شد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

این مطالعه، در باغ زیتون پژوهشی دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در جنوب غربی شهر اهواز و حاشیه‌ی 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، کاینیتی، کاوی، فوجی، مانزانایلا، خضیری، کایسی، T₂، T₃، T₇ و T₂₁ با ارتفاع ۶-۱/۵ متر است. شکل (۱)، موقعیت باغ تحقیقاتی مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج بررسی ویژگی‌های خاک باغ زیتون در جدول (۱) ارائه شده است.

منطقه‌ی توسعه‌ی ریشه‌ی گیاه و مزرعه، ممکن است معرف تغییرات گیاهی مکانی در کل مزرعه نباشد (Mangus et al., 2016).

روش‌های گیاه‌مبنا، تنش آبی گیاه را به صورت مستقیم و از طریق اندازه‌گیری سطح برگ (Maki et al., 2004)، هدایت روزنه‌ای برگ، پتانسیل آب و یا محتوای رطوبتی برگ (Berni et al., 2003; Pu et al., 2011; Elsayed et al., 2009) تعیین می‌کنند. به طور کلی این روش‌ها مخرب، زمان‌بر، پرهزینه و نیازمند نیروی انسانی زیاد است و جهت تخمین تنش آبی گیاه در زمان واقعی مناسب نمی‌باشد (Kim et al., 2011). از سوی دیگر، اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای که معمولاً به این منظور انجام می‌شود، سطح کمی را پوشش داده و شاخص ضعیفی از وضعیت کلی گیاهان در شرایط مزرعه است. بنابراین توصیف شرایط کلی مزرعه نیازمند مشاهدات متعدد در سطح مزرعه خواهد بود (Elsayed and Darwish, 2017).

با توجه به ضرورت بررسی تنش آبی گیاهان جهت برنامه‌ریزی آبیاری و توسعه‌ی کشاورزی پایدار، توسعه‌ی روش‌های غیرمخرب، سریع، ساده و عملی برای ارزیابی تنش آبی گیاهان حائز اهمیت فراوان است (Elsayed et al., 2015).

طیف‌سنجی می‌تواند امکان دستیابی به اطلاعات دقیق تنش آبی گیاه در مزرعه را فراهم نماید (Pinter et al., 2003)؛ چرا که تنش آبی از طریق ایجاد تغییراتی در ساختار داخلی و ترکیب سلول برگ مانند تغییر اندازه و شکل سلول‌ها، تغییر ساختار و ترکیب دیواره‌ی سلولی و تغییر ویژگی‌های اتصال میان دیواره‌ی سلولی و فضای هوا، انعکاس نور از سطح پوشش سبز گیاه را تحت تأثیر قرار داده (Elsayed et al., 2011) و بنابراین یکی از اصلی‌ترین استراتژی‌های کنترل تنش آبی گیاه و برنامه‌ریزی آبیاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Elsayed and Darwish, 2017).

در برخی مطالعات رابطه‌ی میان شاخص‌های طیفی و تنش آبی ارزیابی شده است (Elsayed et al., 2017, Elsayed and Darwish, 2017, Elsayed et al., 2015, Marino et al., 2014, Elsayed et al., 2011, Gutierrez et al., 2010, Prasad et al., 2007, Babar et al., 2006, Eitel et al., 2006, Penuelas et al., 1993, Penuelas et al., 1997). برخی از شاخص‌های طیفی مانند شاخص آب (WI) (Penuelas et al., 1993)، شاخص نرمال آب-۱ (NWI-1) (Elsayed et al., 2011)، شاخص نرمال آب-۲ (NWI-2) (Babar et al., 2006)، شاخص نرمال آب-۳ (NWI-3) (Elsayed et al., 2011)، شاخص نرمال آب-۴ (NWI-4) (Prasad et al., 2007)، شاخص نرمال آب-۵ (NWI-5) و شاخص نرمال آب بر اساس انعکاس در طول موج‌های ۹۶۰ و ۹۴۰ نانومتر (NWI 960-940) (Elsayed et al., 2011)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی باغ زیتون

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک باغ زیتون

θ_{pwp}	θ_{fc}	pH	EC	ρ_b	OC	بافت خاک	رس	سیلت	شن	عمق خاک
(درصد وزنی)			($ds m^{-1}$)	($g cm^{-3}$)	(%)				(%)	
۹	۲۴	۷/۴۶	۵/۳۱	۱/۳۲	۲/۰۷	لوم رسی شنی	۲۷	۲۷/۵	۴۵/۵	۳۰-۰
۹	۲۴	۷/۴۵	۶/۱۸	۱/۴۸	۱/۸۹	لوم رسی شنی	۲۳	۲۴	۵۳	۶۰-۳۰
۹	۲۴	۷/۲۳	۵/۳۲	۱/۵۰	۱/۱۰	لوم رسی شنی	۲۵	۲۰/۵	۵۴/۵	۹۰-۶۰

لیتر بر ساعت، فشار کارکرد ۷-۱/۵ اتمسفر، تنظیم کننده‌ی فشار، ایران دریا، ایران) برای هر درخت، هر سه روز یکبار آبیاری می‌شدند.

نیاز آبی و مقدار آب آبیاری مورد نیاز گیاه

به‌منظور محاسبه‌ی تبخیر-تعرق گیاه مرجع از روش فائو پنمن-مانتیت (Allen et al., 1998) استفاده 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 و تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه در طول دوره‌ی مطالعه در جدول (۲) ارائه شده است.

طرح آزمایشی و تیمارهای آبیاری

این پژوهش از خرداد ماه سال ۱۳۹۷ آغاز شد و تا آذر ماه این سال ادامه یافت. در این پژوهش، آزمایشی به‌صورت 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 کم‌آبیاری با هدف تأمین ۸۵، ۷۰ و ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه) و ارقام زیتون (فاکتور فرعی)؛ شامل دو رقم زیتون کرونیک و T2 اجرا شد. درختان زیتون با استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای و با در نظر گرفتن یک بابلر (شدت جریان ۷۵

جدول ۲. میانگین اطلاعات هواشناسی اهواز، تبخیر و 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 پتانسیل ($mm day^{-1}$)	نیاز آبی گیاه ($mm day^{-1}$)
	بیشینه	متوسط	کمینه	بیشینه	متوسط					
خرداد	۲۴	۴۹/۲	۳۷/۵	۳	۶۵	۰	۳/۹	۱۰/۸	۸/۴	۴/۸
تیر	۲۶/۹	۵۳/۰	۳۹/۵	۳	۵۷	۰	۳/۸	۱۱/۸	۹/۱	۵/۵
مرداد	۲۷/۹	۵۰/۰	۳۹/۰	۶	۳۸	۰	۴/۰	۱۱/۶	۸/۹	۵/۳
شهریور	۲۵/۰	۴۸/۲	۳۷/۴	۶	۹۲	۰	۲/۵	۱۰/۹	۷/۲	۴/۳
مهر	۱۹/۰	۴۵/۸	۳۱/۷	۵	۹۴	۰/۹	۲/۳	۹/۰	۵/۱	۳/۱
آبان	۱۲/۱	۳۴/۰	۲۱/۸	۲۱	۹۹	۳/۲	۲/۱	۶/۱	۲/۵	۱/۴
آذر	۷/۱	۲۶/۵	۱۷/۱	۳۰	۱۰۰	۳/۵	۱/۹	۵/۳	۱/۷	۰/۹

انعکاسی از سطح برگ گیاه و جهت کاهش خطاهای وابسته به شدت روشنایی، از یک فیبر نوری با پروب تماسی (Fiber optic contact probe) استفاده شد. از طریق اتصال پروب تماسی بر روی سطح برگ گیاه، سطح برگ گیاه در معرض نور منبع نوری ثابت درون پروب تماسی قرار گرفت. جهت کاهش اختلاف در انعکاس پس‌زمینه که می‌تواند بوسیله تابش الکترومغناطیسی مخابره شده از سطح برگ ایجاد شود، از یک صفحه‌ی سیاه در زیر برگ استفاده شد (Eitel et al., 2006).

طیف‌سنجی در روزهای ۱۲م تیرماه، ۷م آبان ماه و ۲۵م آذر ماه سال ۱۳۹۷ و همزمان با سایر اندازه‌گیری‌ها، انجام شد. پس از اندازه‌گیری طیف انعکاسی از سطح برگ گیاه، چندین شاخص طیفی که در مطالعات پیشین جهت بررسی تنش آبی گیاه پیشنهاد شده‌اند، محاسبه و بررسی شدند. شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این مطالعه جهت بررسی وضعیت تنش آبی گیاه، در جدول (۳) معرفی شده‌اند.

یکی از مزایای طیف‌سنجی از سطح برگ گیاه، عدم تأثیر متغیرهای محیطی و یا پارازیت‌های اتمسفری بر رابطه‌ی میان محتوای آب گیاه و شاخص‌های طیفی است. بنابراین می‌توان چنین فرض کرد که تغییر شاخص‌های طیفی به‌طور کلی تحت تأثیر ویژگی‌های گیاهی است. با این حال، تغییر ویژگی‌های گیاهی تنها به دلیل محتوای آب گیاه نبوده و این فاکتورها ایجاد ارتباط مستقیم میان شاخص‌های طیفی و وضعیت آب گیاه را دشوار می‌نماید (Eitel et al., 2006).

بررسی تنش آبی گیاه به روش طیف‌سنجی

جهت اندازه‌گیری و ثبت طیف انعکاسی درخت زیتون از دستگاه طیف‌سنج ASD FieldSpec3, Analytical (Spectral Device Inc., USA) با قابلیت اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیسی در دامنه‌ی ۲۵۰۰-۳۵۰ نانومتر، دارای قدرت تفکیک طیفی، ۳ نانومتر در ۷۰۰ نانومتر و ۱۰ نانومتر در ۱۴۰۰ و ۲۱۰۰ نانومتر و دقت طیف‌سنجی، ۱/۴ نانومتر در محدوده‌ی طیفی ۱۰۰۰-۳۵۰ و ۲ نانومتر در محدوده‌ی ۱۰۰۰-۲۵۰۰ نانومتر استفاده شد. حس‌گر FieldSpec دستی شامل دو قسمت است. قسمتی که به گسیلنده متصل است و تابش نور را به‌عنوان سیگنال مرجع اندازه‌گیری می‌کند و قسمتی که تابش‌های انعکاسی از جسم را بوسیله‌ی فیبر نوری اندازه‌گیری می‌کند. پیش از شروع اندازه‌گیری‌ها، دستگاه با استفاده از صفحه‌ی سفیدی از باریوم سولفات (BaSO₄) که حداکثر انعکاس را در برابر نور ورودی ایجاد می‌کند، واسنجی شد. در هنگام اندازه‌گیری طیف انعکاسی، چندین برگ جوان کاملاً توسعه‌یافته، ۱۰ تا ۱۵مین برگ از مریستم انتهایی ساقه، 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 به سرعت و در مدت کمتر از پنج دقیقه، به آزمایشگاه منتقل شد. طیف انعکاسی از سطح سه برگ قرائت و متوسط این سه مقدار به عنوان طیف منعکس شده از سطح برگ در نظر گرفته شد. در این پژوهش برای اندازه‌گیری طیف

جدول ۳. شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این مطالعه

منبع	تعریف	شاخص‌های طیفی
Penuelas et al., 1993	R_{900}/R_{970}	WI (water index)
Babar et al., 2006	$(R_{970}-R_{900})/(R_{970}+R_{900})$	NWI1 (Normalized water index 1)
	$(R_{970}-R_{850})/(R_{970}+R_{850})$	NWI2 (Normalized water index 2)
Prasad et al., 2007	$(R_{970}-R_{880})/(R_{970}+R_{880})$	NWI3 (Normalized water index 3)
	$(R_{970}-R_{920})/(R_{970}+R_{920})$	NWI4 (Normalized water index 4)
Elsayed et al., 2017	$(R_{970}-R_{910})/(R_{970}+R_{910})$	NWI5 (Normalized water index 5)
Elsayed et al., 2011	$(R_{960}-R_{940})/(R_{960}+R_{940})$	NWI 960-940 (Normalized water index based on 960 and 940 nm)

اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ

برای اندازه‌گیری محتوای نسبی آب برگ (RWC) بصورت ماهانه، ساعت ۱۱ الی ۱۲ صبح روزهایی که سایر اندازه‌گیری‌ها انجام شد، از برگ‌های جوان کاملاً توسعه‌یافته، به‌طور تصادفی نمونه‌برداری شد. برگ‌های جدا شده از هر درخت به‌طور جداگانه

اندازه‌گیری رطوبت خاک

رطوبت خاک ناحیه‌ی توسعه‌ی ریشه‌ی درختان در هر تیمار بصورت ماهانه در لایه‌ی سطحی خاک، در عمق ۲۰ سانتی‌متری و در فاصله‌ی ۰/۵ متری از تنه‌ی درختان، به روش جرمی تعیین شد.

به منظور بررسی ارتباط بین شاخص‌های طیفی مستخرج از روش طیف‌سنجی با شاخص فیزیولوژیکی محتوای نسبی آب برگ از رگرسیون ساده‌ی خطی استفاده و ضریب همبستگی بین شاخص‌های طیفی و محتوای نسبی آب برگ تعیین شد. این امر امکان ارزیابی قابلیت اطمینان استفاده از شاخص‌های طیفی به‌عنوان جایگزینی برای شاخص‌های فیزیولوژیکی گیاه را فراهم می‌نماید.

نتایج و بحث

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اختلاف میان مقادیر رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در ماه‌های مهر، آبان و آذر و همچنین به‌طور متوسط در طول دوره‌ی پژوهش معنی‌دار بود. بر اساس نتایج مقایسه‌ی میانگین رطوبت خاک در رژیم‌های متفاوت آبیاری (جدول ۴)، با افزایش شدت تنش مقدار رطوبت خاک، به تدریج کاهش یافته است. بیش‌ترین میزان کمبود رطوبت خاک در تیمارهای کم‌آبیاری نسبت به تیمار شاهد، مربوط به آبان ماه با مقدار حدود ۲۵-۲۳ 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 به ترتیب در حدود ۱۱، ۱۵ و ۲۰ درصد بود.

در کیسه‌های پلاستیکی و برای جلوگیری از تلفات آب، روی تکه‌های یخ قرار گرفته و به سرعت 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 شدند. پس از آن نمونه‌ها به سرعت و با دقت با کاغذ خشک‌کن، خشک و توزین شدند. در نهایت برای اندازه‌گیری وزن خشک، نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار داده شدند. سپس RWC طبق رابطه‌ی زیر (Schlemmer *et al.*, 2005) محاسبه شد.

$$RWC = \frac{W_f - W_d}{W_s - W_d} \quad (\text{رابطه ۱})$$

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

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.

جدول ۴. مقایسه میانگین رطوبت لایه‌ی سطحی خاک در رژیم‌های متفاوت آبیاری

رژیم آبیاری	درصد وزنی رطوبت خاک					
	تبر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
آبیاری کامل	^a ۱۵/۱۷	^a ۱۱/۳۱	^a ۱۵/۰	^a ۱۷/۲۳	^a ۱۷/۴۳	^a ۲۲/۵۸
۱۵٪ کم‌آبیاری	^a ۱۳/۵۳	^a ۱۰/۶۰	^a ۱۴/۲۰	^b ۱۵/۵۴	^b ۱۳/۱۴	^{ab} ۲۰/۵۳
۳۰٪ کم‌آبیاری	^a ۱۳/۰۶	^a ۹/۴۸	^a ۱۳/۴۹	^b ۱۴/۳۰	^b ۱۳/۴۵	^b ۱۹/۳۰
۴۵٪ کم‌آبیاری	^a ۱۳/۲۳	^a ۹/۶۰	^a ۱۲/۴۰	^b ۱۴/۴۸	^b ۱۳/۴۴	^b ۱۹/۲۷

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

درصد، معنی‌دار بود. در حالی که برهمکنش آن‌ها بر مقدار محتوای نسبی آب برگ درخت زیتون، در ماه‌های مختلف و همچنین در تمامی طول دوره‌ی تحقیق بی‌تأثیر بود.

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول (۵)، اگر چه میانگین مقدار محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون با افزایش شدت تنش آبی گیاه کاهش یافته است، با این حال تفاوت مقدار این شاخص تنها در تیمار آبیاری کامل و آبیاری برای تأمین ۵۵ درصد از نیاز آبی گیاه، معنی‌دار بود. علاوه بر این، به‌طور کلی محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون رقم کرونیکی نسبت به درختان زیتون رقم T₂ بیشتر بود.

بر اساس نتایج تجزیه واریانس، با توجه به مقاومت بالای درخت زیتون در برابر تنش آبی، مقادیر محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون در ماه‌های مختلف تحت تأثیر کم‌آبیاری در سه سطح ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درصد، تغییرات معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد (آبیاری کامل) نشان ندادند. علاوه بر این، مقدار این شاخص تنها در طول ماه‌های مهر، آبان و آذر و در سطح احتمال ۵ درصد، تحت تأثیر رقم درخت زیتون قرار داشت. بر اساس نتایج تجزیه واریانس مقادیر محتوای نسبی آب برگ به‌طور متوسط در دوره‌ی پژوهش، اثر رقم درخت زیتون و همچنین رژیم‌های متفاوت آبیاری بر مقدار محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمال ۵

جدول ۵. مقایسه میانگین محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون در رژیم‌های متفاوت آبیاری

تیمارها	درصد محتوای نسبی آب برگ درخت زیتون					
	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
رژیم آبیاری کامل	۶۱/۸۵ ^a	۵۹/۲۱ ^a	۶۲/۵۴ ^a	۶۴/۱۲ ^a	۶۵/۲۹ ^a	۶۸/۲۳ ^a
۱۵٪ کم آبیاری	۶۰/۵ ^a	۵۸/۶۲ ^a	۶۱/۹۳ ^a	۶۳/۳۳ ^a	۶۴/۳۲ ^a	۶۸/۰۳ ^a
۳۰٪ کم آبیاری	۶۰/۴۱ ^a	۵۸/۲۴ ^a	۶۱/۳۵ ^a	۶۳/۲۰ ^a	۶۴/۰ ^a	۶۷/۱۷ ^a
۴۵٪ کم آبیاری	۶۰/۰۷ ^a	۵۷/۶۶ ^a	۶۰/۷۵ ^a	۶۲/۵۱ ^a	۶۴/۳۸ ^a	۶۷/۳۵ ^a
رقم زیتون						
کرونیکی	۶۱/۰۷ ^a	۵۸/۵۶ ^a	۶۱/۹۳ ^a	۶۳/۵۰ ^a	۶۵/۳۲ ^a	۶۹/۲۵ ^a
T ₂	۶۰/۳۴ ^a	۵۸/۳۱ ^a	۶۱/۳۵ ^a	۶۳/۰۹ ^a	۶۳/۶۷ ^b	۶۶/۱۴ ^b

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

Penuelas *et al.*, (1997) که نشان دادند، مقدار شاخص WI نهال هشت گونه درخت و درختچه مدیترانه‌ای کشت شده در شرایط مزرعه و آزمایشگاه در طی فرآیند خشک شدن، کاهش یافته است، مطابقت دارد.

ضرایب تبیین (R^2) تعیین شده در طول دوره‌ی مطالعه در جدول (۷) نشان داده شده است. برای هر رقم زیتون در تمامی دوره‌ی مطالعه و به‌طور کلی در ارقام زیتون، شاخص‌های طیفی مورد مطالعه با شاخص محتوای نسبی آب برگ ارتباط داشت. نتایج نشان داد که شاخص آب و شاخص‌های نرمال آب مورد مطالعه با شاخص محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون رقم کرونیکی و T₂، از نظر آماری رابطه‌ی خطی معنی‌دار دارند. رابطه‌ی میان شاخص‌های طیفی مورد مطالعه و شاخص محتوای نسبی آب برگ در طول اندازه‌گیری‌ها و برای هر دو رقم زیتون متغیر بود ($0.76^{**} < r^2 < 0.726^*$).

شش شاخص طیفی WI، NWI1، NWI2، NWI3، NWI4 و NWI5 بر این فرضیه استوارند که طول موج مادون قرمز نزدیک (۹۷۰ nm) بصورت عمیق‌تری در پوشش سبز گیاه نفوذ نموده و بنابراین قادر است با دقت بالایی محتوای آب گیاه را برآورد نماید. این شاخص‌ها انرژی جذب شده به‌وسیله‌ی آب در طول موج ۹۷۰ و طول موج‌های متفاوت ۸۵۰، ۸۸۰، ۹۰۰، ۹۱۰ و ۹۲۰ نانومتر که جذب آب نمی‌شوند را مقایسه نموده (Penuelas *et al.*, 2007; Prasad *et al.*, 1997) و از این رو در تعیین محتوای آب گیاه مناسب‌اند. علاوه بر این شش شاخص، شاخص طیفی نرمال آب بر اساس میزان جذب در طول موج‌های ۹۴۰ و ۹۶۰ نانومتر (NW1960-940) نیز برای هر دو رقم زیتون کرونیکی و T₂ رابطه‌ی خوبی با شاخص محتوای نسبی آب برگ، نشان داد.

بر اساس نتایج تجزیه‌ی واریانس، تفاوتی در مقدار شاخص‌های طیفی مورد بررسی بین تیمارهای مختلف آبیاری در هیچ یک از مراحل اندازه‌گیری، وجود نداشت. اما مقدار شاخص‌های طیفی در تیر و آبان ماه و همچنین به‌طور متوسط در طول دوره‌ی پژوهش، تحت تأثیر رقم درخت زیتون قرار گرفت. بر اساس مقدار متوسط شاخص‌های طیفی مورد مطالعه در طول دوره‌ی پژوهش (جدول ۶)، مقدار شاخص WI در درخت زیتون رقم T₂ به صورت معنی‌داری بیش‌تر از این مقدار در درخت زیتون رقم کرونیکی بود. در حالی که مقدار شاخص‌های نرمال آب (NW1، NWI2، NWI3، NWI4، NWI5، NWI 960-940) در رقم T₂ به صورت معنی‌داری کمتر از مقدار آن‌ها در رقم کرونیکی بود.

علاوه بر این، با وجود عدم مشاهده‌ی تفاوت معنی‌دار میان شاخص‌های طیفی در رژیم‌های آبیاری متفاوت، بر اساس مقدار متوسط شاخص‌های طیفی مورد مطالعه در طول دوره تحقیق، با افزایش شدت تنش، مقدار شاخص WI کاهش و مقدار شاخص‌های نرمال آب (NW1، NWI2، NWI3، NWI4، NWI5، NWI 960-940)، افزایش یافته است. نتایج تحقیق Elsayed *et al.* (2017) نیز نشان داد که مقدار شاخص‌های طیفی NWI1، NWI3، NWI4، NWI5 و NWI 992-990 در دو رقم گندم، با افزایش سطح تنش آبی، افزایش یافته است. در تحقیق دیگری Marino *et al.* (2014) بیان کردند که مقدار شاخص WI درختان زیتون در شرایط آبیاری کامل نسبت به شرایط تنش آبی، بصورت قابل توجهی بیش‌تر بود. علاوه بر این Gutierrez *et al.* (2010) نشان دادند که مقدار شاخص‌های طیفی NWI1، NWI2، NWI3 و NWI4 در گندم بهاره در تیمار آبیاری کامل نسبت به شرایط تنش آبی کمتر بود. نتایج تحقیق حاضر همچنین با نتایج

جدول ۶. مقایسه میانگین شاخص‌های طیفی درختان زیتون در رژیم‌های متفاوت آبیاری

زمان	تیمارها	شاخص طیفی							
		NWI 960-940	NWI5	NWI4	NWI3	NWI2	NWI1	WI	
تبر	رژیم آبیاری								
	آبیاری کامل	-۰/۰۰۹۵ ^a	-۰/۰۱۹۵ ^a	-۰/۰۱۸۶ ^a	-۰/۰۲۰۴ ^a	-۰/۰۲۰۰ ^a	-۰/۰۲۰۰ ^a	۱/۰۴۰۷ ^a	
	۱۵٪ کم آبیاری	-۰/۰۰۹۲ ^a	-۰/۰۱۸۹ ^a	-۰/۰۱۸۰ ^a	-۰/۰۱۹۸ ^a	-۰/۰۱۹۶ ^a	-۰/۰۱۹۳ ^a	۱/۰۳۹۴ ^a	
	۳۰٪ کم آبیاری	-۰/۰۰۹۱ ^a	-۰/۰۱۸۶ ^a	-۰/۰۱۷۸ ^a	-۰/۰۱۹۵ ^a	-۰/۰۱۹۳ ^a	-۰/۰۱۹۰ ^a	۱/۰۳۸۸ ^a	
	۴۵٪ کم آبیاری	-۰/۰۰۸۵ ^a	-۰/۰۱۷۳ ^a	-۰/۰۱۶۷ ^a	-۰/۰۱۸۱ ^a	-۰/۰۱۷۷ ^a	-۰/۰۱۷۷ ^a	۱/۰۳۶۰ ^a	
	رقم زیتون								
	کرونیکی	-۰/۰۰۸۵ ^a	-۰/۰۱۷۴ ^a	-۰/۰۱۶۷ ^a	-۰/۰۱۸۱ ^a	-۰/۰۱۷۵ ^a	-۰/۰۱۷۸ ^a	۱/۰۳۶۲ ^b	
	T ₂	-۰/۰۰۹۶ ^b	-۰/۰۱۹۷ ^b	-۰/۰۱۸۹ ^b	-۰/۰۲۰۸ ^b	-۰/۰۲۰۸ ^b	-۰/۰۲۰۲ ^b	۱/۰۴۱۳ ^a	
	آبان	رژیم آبیاری							
		آبیاری کامل	-۰/۰۱۰۶ ^a	-۰/۰۲۰۲ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	-۰/۰۲۱۴ ^a	-۰/۰۲۱۲ ^a	-۰/۰۲۰۸ ^a	۱/۰۴۲۴ ^a
۱۵٪ کم آبیاری		-۰/۰۰۹۶ ^a	-۰/۰۱۸۱ ^a	-۰/۰۱۷۳ ^a	-۰/۰۱۹۰ ^a	-۰/۰۱۸۷ ^a	-۰/۰۱۸۸ ^a	۱/۰۳۷۸ ^a	
۳۰٪ کم آبیاری		-۰/۰۰۹۷ ^a	-۰/۰۱۸۵ ^a	-۰/۰۱۷۶ ^a	-۰/۰۱۹۵ ^a	-۰/۰۱۹۱ ^a	-۰/۰۱۹۰ ^a	۱/۰۳۸۸ ^a	
۴۵٪ کم آبیاری		-۰/۰۰۹۶ ^a	-۰/۰۱۸۲ ^a	-۰/۰۱۷۴ ^a	-۰/۰۱۹۴ ^a	-۰/۰۱۹۱ ^a	-۰/۰۱۸۸ ^a	۱/۰۳۸۴ ^a	
رقم زیتون									
کرونیکی		-۰/۰۰۹۳ ^a	-۰/۰۱۷۶ ^a	-۰/۰۱۶۸ ^a	-۰/۰۱۸۶ ^a	-۰/۰۱۸۳ ^a	-۰/۰۱۸۱ ^a	۱/۰۳۶۹ ^b	
T ₂		-۰/۰۱۰۴ ^b	-۰/۰۱۹۹ ^b	-۰/۰۱۸۹ ^a	-۰/۰۲۱۱ ^b	-۰/۰۲۰۸ ^b	-۰/۰۲۰۵ ^b	۱/۰۴۱۸ ^a	
آذر		رژیم آبیاری							
		آبیاری کامل	-۰/۰۰۹۱ ^a	-۰/۰۲۱۲ ^a	-۰/۰۲۰۲ ^a	-۰/۰۲۱۹ ^a	-۰/۰۲۰۷ ^a	-۰/۰۲۱۶ ^a	۱/۰۴۲۰ ^a
	۱۵٪ کم آبیاری	-۰/۰۰۹۲ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	-۰/۰۱۸۲ ^a	-۰/۰۱۹۹ ^a	-۰/۰۱۹۰ ^a	-۰/۰۱۹۶ ^a	۱/۰۴۰۰ ^a	
	۳۰٪ کم آبیاری	-۰/۰۰۹۱ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	-۰/۰۱۸۲ ^a	-۰/۰۱۹۸ ^a	-۰/۰۱۸۹ ^a	-۰/۰۱۹۶ ^a	۱/۰۳۹۹ ^a	
	۴۵٪ کم آبیاری	-۰/۰۰۹۳ ^a	-۰/۰۱۹۷ ^a	-۰/۰۱۸۷ ^a	-۰/۰۲۰۶ ^a	-۰/۰۲۰۰ ^a	-۰/۰۲۰۲ ^a	۱/۰۴۱۲ ^a	
	رقم زیتون								
	کرونیکی	-۰/۰۰۹۵ ^a	-۰/۰۲۰۲ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	-۰/۰۲۰۹ ^a	-۰/۰۲۰۱ ^a	-۰/۰۲۰۷ ^a	۱/۰۴۲۳ ^a	
	T ₂	-۰/۰۰۸۹ ^a	-۰/۰۱۹۴ ^a	-۰/۰۱۸۵ ^a	-۰/۰۲۰۲ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	-۰/۰۱۹۸ ^a	۱/۰۴۰۵ ^a	
	کل دوره	رژیم آبیاری							
		آبیاری کامل	-۰/۰۰۹۷ ^a	-۰/۰۲۰۳ ^a	-۰/۰۱۹۴ ^a	-۰/۰۲۱۲ ^a	-۰/۰۲۰۶ ^a	-۰/۰۲۰۸ ^a	۱/۰۴۲۵ ^a
۱۵٪ کم آبیاری		-۰/۰۰۹۳ ^a	-۰/۰۱۸۷ ^a	-۰/۰۱۷۸ ^a	-۰/۰۱۹۶ ^a	-۰/۰۱۹۱ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	۱/۰۳۹۱ ^a	
۳۰٪ کم آبیاری		-۰/۰۰۹۳ ^a	-۰/۰۱۸۸ ^a	-۰/۰۱۷۹ ^a	-۰/۰۱۹۶ ^a	-۰/۰۱۹۱ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	۱/۰۳۹۲ ^a	
۴۵٪ کم آبیاری		-۰/۰۰۹۲ ^a	-۰/۰۱۸۴ ^a	-۰/۰۱۷۶ ^a	-۰/۰۱۹۳ ^a	-۰/۰۱۸۹ ^a	-۰/۰۱۸۹ ^a	۱/۰۳۸۵ ^a	
رقم زیتون									
کرونیکی		-۰/۰۰۹۱ ^a	-۰/۰۱۸۴ ^a	-۰/۰۱۷۶ ^a	-۰/۰۱۹۲ ^a	-۰/۰۱۸۶ ^a	-۰/۰۱۸۹ ^a	۱/۰۳۸۵ ^b	
T ₂		-۰/۰۰۹۷ ^b	-۰/۰۱۹۷ ^b	-۰/۰۱۸۸ ^b	-۰/۰۲۰۷ ^b	-۰/۰۲۰۳ ^b	-۰/۰۲۰۲ ^b	۱/۰۴۱۲ ^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.

برگ، شاخص‌های طیفی NWI 960-940، NWI5، NWI4، NWI1، WI، NWI2 و NWI3، به ترتیب رابطه‌ی بهتری با شاخص محتوای نسبی آب برگ زیتون نشان دادند. شکل (۲)، مدل رگرسیون خطی میان شاخص‌های طیفی مورد مطالعه و محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون رقم

بر اساس نتایج تحقیق حاضر به‌طور کلی شاخص طیفی نرمال آب NWI2 کمترین ضریب تبیین را با شاخص محتوای نسبی آب برگ درخت زیتون در طول اندازه‌گیری‌ها نشان داد (۱-۲۳ درصد کمتر از سایر شاخص‌های مورد مطالعه). بر اساس مقدار متوسط شاخص‌های طیفی و شاخص رطوبت نسبی آب

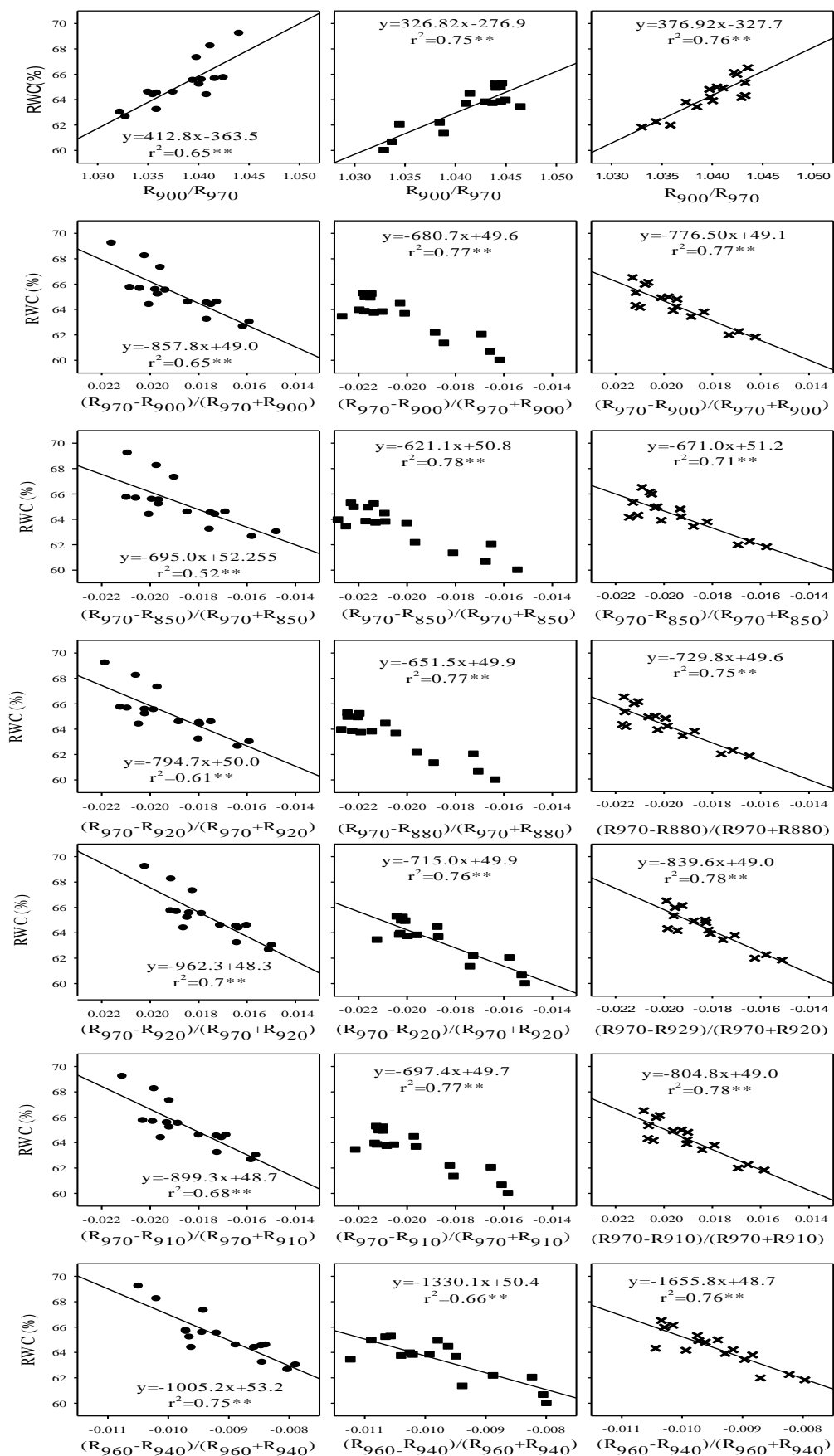
معنی‌دار ($r^2 < 0/78$) به ترتیب با ضریب تبیین، $0/94$ ، $0/78$ و $0/9$ داشتند. شاخص آب ارائه شده توسط Penuelas *et al.* (1993) ارتباط خوبی با چندین پارامتر مرتبط با میزان آب گیاه در وارپته‌های گیاهی متفاوت نشان داده است. از جمله شاخص آب رابطه‌ی خوبی با شاخص محتوای نسبی و پتانسیل آب برگ ($0/8 < r^2 < 0/6$) گیاهان فلفل و ژربرا در حال رشد در محیط گلخانه و یا محفظه‌ی رشد، در شرایط القاء مصنوعی تنش آبی گیاه، نشان داد. در پژوهش دیگری محتوای آب گیاه با شاخص WI نهال چندین درخت و درختچه مدیریتانه‌ای کشت شده در شرایط کنترل شده، رابطه‌ی معنی‌داری داشت ($0/75 < r^2 < 0/61$) در حالی که ارتباط میان آن‌ها، در نهال‌های کشت شده در شرایط طبیعی، کاهش یافت ($0/56 < r^2 < 0/05$) (Penuelas *et al.*, 1997). علاوه بر این Sims and Gamon (2003)، پس از بررسی چندین گونه گیاهی یکساله و چندساله (درخت انگور، درختچه و درخت)، در شرایط طبیعی دریافتند که شاخص WI نسبت به سایر شاخص‌های طیفی SR، NDWI و NDVI ارتباط بهتری با محتوای آب گیاه دارد ($r^2 = 0/56$).

کرونیکی و T_2 را به‌طور متوسط در دوره‌ی تحقیق نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده‌ی مفید بودن شاخص‌های طیفی مورد مطالعه در تخمین شاخص محتوای نسبی آب برگ است که نتایج Elsayed *et al.* (2017) را که بیان کردند شاخص‌های طیفی نرمال NWI1، NWI3، NWI4، NWI5 و NWI992-900 با محتوای نسبی آب برگ گندم ارتباط نزدیک دارد ($0/8 < r^2 < 0/54$) را تأیید می‌نماید. علاوه بر این Becker and Schmidhalter (2017) نیز بیان کردند که شاخص‌های طیفی مادون قرمز نزدیک (WI، NWI1، NWI2، NWI3 و NWI4) ارتباط خوبی با شاخص‌های مرتبط با تنش آبی گیاه از جمله محتوای نسبی آب برگ گندم نشان داده‌اند. در پژوهشی دیگر Eitel *et al.* (2006) بیان کردند که مقدار شاخص‌های طیفی MDWI $(R_{max1500-1750} - R_{min1500-1750}) / (R_{max1500-1750} + R_{min1500-1750})$ و NDWI $(R_{860} - R_{1240}) / (R_{860} + R_{1240})$ مستخرج از طیف منعکس شده از سطح برگ درختان سپیدار (Populus spp.) از نظر آماری با شاخص محتوای نسبی آب برگ رابطه‌ی

جدول ۷. ضریب تبیین (r^2)، شیب (a) و عرض از مبدأ (b) رابطه‌ی خطی میان شاخص‌های طیفی و شاخص محتوای نسبی رطوبت آب برگ درخت زیتون

رقم زیتون	شاخص طیفی	r^2	تیر	a	b	r^2	آبان	a	b	r^2	آذر	a	b	r^2
	WI	0/57	-577/6	616/4	-344/5	0/74	385/6	-470/7	518/1	0/70				
	NWI1	0/57	38/4	-1278/1	50/9	0/74	-799/4	46/9	-1082/1	0/70				
	NWI2	0/49	41/2	-1134/4	52/6	0/73	-696/0	51/7	-896/9	0/59				
	NWI3	0/56	38/7	-1237/9	51/3	0/74	-752/0	48/2	-1004/1	0/67				
	NWI4	0/58	38/4	-1359/2	50/8	0/73	-866/0	45/6	-1232/6	0/70				
	NWI5	0/57	38/4	-1305/0	50/8	0/74	-827/7	46/2	-1138/0	0/71				
	NWI 960-940	0/61	35/5	-2995/3	49/4	0/76	-1708/5	46/9	-2354/0	0/64				
	WI	0/70	-251/9	299/8	-170/8	0/62	225/0	-227/6	282/4	0/50				
	NWI1	0/70	47/7	-624/7	54/1	0/62	-469/7	54/5	-588/6	0/50				
	NWI2	0/58	49/6	-513/4	54/9	0/56	-420/7	54/8	-590/2	0/65				
	NWI3	0/66	48/2	-578/6	54/2	0/60	-448/5	54/2	-593/1	0/56				
	NWI4	0/74	47/1	-697/9	54/1	0/63	-507/0	55/4	-579/0	0/45				
	NWI5	0/72	47/4	-655/4	54/1	0/63	-483/3	54/8	-585/0	0/47				
	NWI 960-940	0/71	46/1	-1475/3	53/2	0/61	-1005/2	57/3	-964/6	0/40				
	WI	0/51	-361/9	406/8	-308/1	0/69	358/4	-325/4	377/5	0/55				
	NWI1	0/51	45/0	-824/0	50/1	0/69	-746/0	51/8	-786/7	0/55				
	NWI2	0/40	47/7	-678/2	51/2	0/68	-679/7	55/3	-629/1	0/50				
	NWI3	0/47	45/8	-765/8	50/4	0/69	-712/4	52/6	-736/1	0/54				
	NWI4	0/55	44/1	-934/8	50/1	0/69	-804/9	52/4	-813/2	0/49				
	NWI5	0/53	44/6	-867/2	50/1	0/69	-768/4	51/7	-808/6	0/53				
	NWI 960-940	0/61	41/0	-2174/3	49/1	0/70	-1555/0	57/1	-1135/6	0/26				

ns، * و ** به ترتیب بیان‌گر عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال 5 و 1 درصد است.



شکل ۲. مدل رگرسیون خطی میان شاخص‌های طیفی مورد مطالعه و محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون رقم کرونیکی (*)، رقم T₂ (■) و هر دو رقم (X) در طول دوره‌ی تحقیق

است. در این مطالعه قابلیت شاخص‌های طیفی WI، NW11، NW12، NW13، NW14، NW15 و NW1960-940 در بررسی وضعیت تنش آبی درخت زیتون از طریق تعیین ارتباط میان شاخص‌های طیفی و شاخص محتوای نسبی آب گیاه (RWC) به عنوان معیاری از تنش آبی، در رژیم‌های آبیاری متفاوت، مورد بررسی قرار گرفت. شاخص‌های طیفی ارتباط معنی‌داری با شاخص محتوای نسبی آب برگ درختان زیتون نشان دادند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که شاخص محتوای نسبی آب برگ می‌تواند با دقت بالایی با استفاده از شاخص‌های طیفی توصیف شود. لذا به نظر می‌رسد که شاخص‌های طیفی، معیارهای خوبی از وضعیت تنش آبی درخت زیتون باشند.

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.
- 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.
- Babar, M. A., Reynolds, M. P., van Ginkel, M., Klatt, A. R., Raun, W. R. and Stone, M. L. (2006). Spectral reflectance indices as a potential indirect selection criteria for wheat yield under irrigation. *Crop Science*. 46, 578-588.
- Bacelar, E. A., Santos, D. L., Moutinho-Pereira, J. M., Goncalves, B. C., Ferreira, H. F. and Correia, C. M. (2006). Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars under contrasting water availability regimes, Changes on structure and chemical composition of foliage and oxidative damage. *Plant Science*, 170, 596-605.
- Becker, E. and Schmidhalter, U. (2017). Evaluation of yield and drought using active and passive spectral sensing systems at the reproductive stage in wheat. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1-15.
- 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.
- 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.
- DeJonge, K. C., Taghvaeian, S., Trout, T. J. and Comas, L. H. (2015). Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agricultural Water Management*, 156, 51-62.
- Eitel, J. U. H., Gessler, P. E., Smith, A. M. S and Robberecht, R. (2006). Suitability of existing and novel spectral indices to remotely detect water stress in *Populus* spp. *Forest Ecology and Management*, 229, 170-182.
- Elsayed, S. and Darwish, W. (2017). Hyperspectral remote sensing to assess the water status, biomass, and yield of maize cultivars under salinity and water stress. *Bragantia*, 76, 62-72.
- 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.
- Fereres, E., Orgaz, F. and Gonzalez-Dugo, V. (2011). Reflections on food security under water scarcity. *Journal of Experimental Botany*, 62, 4079-4086.
- Garces-Restrepo, C., Vermillion, D. and Munoz, G. (2007). *Irrigation management transfer. Worldwide efforts and results*. FAO, Rome, pp. 62.
- Garcia-Tejero, I. F., Hernandez, A., Padilla-Diaz, C. M., Diaz-Espejo, A. and Fernandez, J. (2017). Assessing plant water status in a hedgerow olive orchard from thermography at plant level. *Agricultural Water Management*, 188, 50-60.
- Geerts, S. and Raes, D. (2009). Deficit irrigation as an on farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284.
- Gutierrez, M., Reynolds, M. P., Raun, W. R., Stone, M. L. and Klatt, A. R. (2010). Spectral water indices for assessing yield in elite bread wheat genotypes

نتیجه‌گیری

زیتون یک محصول استراتژیک جهانی است. امروزه کشت آبی این محصول جهت بهبود تولید، در حال افزایش است. با این حال، کمبود آب یکی از عوامل اصلی محدودیت توسعه‌ی کشت زیتون، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، محسوب می‌شود. بنابراین حفظ منابع آب موجود از طریق بهبود مدیریت آبیاری و افزایش بهره‌وری مصرف آب، اصلی‌ترین لازمه‌ی توسعه‌ی پایدار کشاورزی آبی است. در این راستا نیاز مبرم به استفاده از روش‌هایی جهت بررسی وضعیت تنش آبی گیاهان، احساس می‌شود. تکنیک طیف سنجی روشی نویدبخش در بررسی و پیش‌بینی تنش آبی گیاه

- in well irrigated, water stressed, and high temperature conditions. *Crop Science*, 50, 197–214.
- 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.
- 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.
- Marino, G., Pallozzi, E., Coccozza, C., Tognetti, R., Alessio, G., Cantini, C. and Centritto, M. (2014). Assessing gas exchange, sap flow and water relations using tree canopy spectral reflectance indices in irrigated and rainfed *Olea europaea* L. *Environmental and Experimental Botany*, 99, 43-52.
- Penuelas, J., Pinol, J., Ogaya, R. and Filella, I. (1997). Estimation of plant water concentration by the reflectance water index (R900/R970). *International Journal of Remote Sensing*, 18, 2869–2875.
- Penuelas, J., Filella, I., Biel, C., Serrano, L. and Save, R. (1993). The reflectance at the 950–970 nm region as an indicator of plant water status. *International Journal of Remote Sensing*, 14, 1887-1905.
- Pinter, P. J., Hatfield, J. L., Schepers, J. S., Barnes, E. M., Moran, M. S., Daughtry, C. S and Upchurch, D. R. (2003). Remote sensing for crop management. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(6), 647-664.
- Prasad, B., Carver, B. F., Stone, M. L., Babar, M. A., Raun, W.R. and Klatt, A. R. (2007). Potential use of spectral reflectance indices as a selection tool for grain yield in winter wheat under Great Plains conditions. *Crop Science*, 47, 1426–1440.
- 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.
- Richards, R. A., Rebetzke, G. J, Watt, M., Condon, A., Spielmeyer, W. and Dolferus, R. (2010). Breeding for improved water productivity in temperate cereals, phenotyping, quantitative trait loci, markers and the selection environment. *Functional Plant Biology*, 37, 85–97.
- Sims, D. and Gamon, J. (2003). Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance, a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. *Remote Sensing of Environment*, 84, 526-537.
- 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.