



עדי פריגז'ין

הערכת מצב המים בעצי תמר באמצעות צלומים תרמיים

עדי פריגז'ין / המכולקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי,
אוניברסיטת בן גוריון; המכוון להנדסה חקלאית, מינהל
המחקר החקלאי, מרכז ולקני
יפוי כהן, ויקטור אלחנתי, אשר לוי / המכוון להנדסה
חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז ולקני
ויקטוריה סורוקר / המכולקה לאנטומולוגיה, מינהל
המחקר החקלאי, מרכז ולקני
יובל כהן / המכוון למודיעי הצמלה, מינהל המחקר
החקלאי, מרכז ולקני



מתוך Google Earth

מבוא

ענף התמר הינו אחד מענפי המטע החשובים במערב התיכון ובאזור אפריקה ויש לו חשיבות כלכלית גדולה במדינות רבות באזורי אלה (ברנסטליין, 1999; 2004, 2004). בשנים האחרונות התרחב הענף באזורי הצחיחים החמים בישראל, לאורך בקעת הירדן והערבה, והגע ליקף של כ-40,000 ד'. עץ התמר (*Phoenix dactylifera* L.) הינו צומח טרופופטי ועמיד לריכוזים גבוהים של מלחים (Tripler et al., 2007), מאפיינים שהפכו אותו ליעדול המטע העיקרי של נאות המדבר. אולם, עצ' זה זקוק לכמות מספקת של מים ובائقות סבירה על מנת להגיע לרמת היבול הפוטנציאלית (Liebenberg and Zaid, 1999). ברוב הגידול של התמר שיטת ההשקיה המקובלת היא הצפה, בעוד שבישראל ההשקיה מותבצעת באמצעות טפטוף או המטרה. שיטות אלו, יחד עם מיקו-השקייה, נשבות לעילות וחסכנות יותר. חישוב כמות המים הדרושה להשקיה עצי תמר נעשה בשיטות שונות. בישראל, ארחה"ב ודרום אפריקה משתמשים לעיתים תכופות בשיטת האיזודיזי ביגניות, מאחר שהomidע המתתקבל באמצעות שיטה זו זמין באופן מיידי (Liebenberg, 1999). מגדלי תמרים בישראל, כמו גם ביטחון, נהגים

גדלי תמרים בישראל נוהגים להשקיות מעבר לכמות המומלצת כיוון שהomidע לגבי השקייה בגידול זה מוגבל, וحصرם כלים זמינים לשימוש מסחרי לניטור מצב המים בעצים. השיטה העיקרית לדיהוי מרוחק של עקט מים בצומח היא באמצעות שימוש בחלק התרמי של הספקטרום האלקטרומגנטי. כבר לפני כ-40 שנה הצביעו על הקשר בין טמפרטורת נוף הצומח ומצב המים. מערכות צילום תרמי ברזולוציה גבוהה שימשו להערכת מצב המים במספר סוגים מטיעים וגידולים, בהם כותנה, חיטה, כרם ענבים וכרם זיתים. מטרת המאמר שלפנינו היא להעריך את הפוטנציאלי הטמון בצלומים תרמיים מוטסים לניטור מצב המים בעצי תמר.

שיטת מחקר ותוצאות

ניתוח שלוש חלקיות תרמיים מזון 'מג'הוֹל' בקצבן בתקופת ים המלח בוצע בשנים 2007-2009. במהלך חודשי החורף, ינואר עד אפריל, ניתנו ל-100-200 עצים בכל חלקה, כמותות של 20% מההשקה המסחרית (סורוקר וחוב, 2009). כמות ההשקה המסחרית נקבעה על פי מקדם של 0.65 התאזרות מגירות, כאשר מנתה ההשקה בתקופה זו של השנה ניתנו כל שלושה-ארבעה ימים.

קצב התארכות לולב

קצב התארכות לולב במהלך תקופת הניסוי הושווה בין שלושה עצים בכל חלקה ובכל רמת השקיה – מסחרית, -20% ומmana. סרגלי מדידה חוברו באמצעות חוט לקצה הלולב, כאשר הצימוח האנכי שלו משך את החוט והציג את התארוכותו המדודית על סרגל המדידה (ברנסטליין, 2004). התארוכות הלולב חולקה לפחות שני כל שני מדידות, על מנת לקבל את קצב צימוח הלולב היומי הממוצע. איור 1 מציג את קצב התארוכות הלולב הממוצע על שלושה עצים מכל טיפול, ממוצע ינואר ועד לשבוע הראשון של אפריל 2007 במתע תמרים של קיבוץ קל"ה. ההבדלים בקצב הצימוח בין שני טיפולים עולים עם הזמן, ומואצט עוד יותר בקצב הצימוח בין מרצ' הבדלים הללו מובהקים. יש להדגיש שמדובר חדש מרצ' החותם רק בתקופת החורף ובאביב המוקדם, בה עקט ההשקה נעשה רך וקצב התארוכות נמוכים יחסית. צמצום ההשקה לא פגע בפריחה ובבחנותה, רק עיכב את קצב יציאת התפרחות וקצב התפתחות החניטים בתקופת ההשקה המוצמצמת. לאחר חידוש ההשקה לרמה הרגילה הצטמצמו הפערים, ובגדיד לא נמצא שינוי משמעותי בנannel הפרי ובוביל הממוצע לעץ (סורוקר וחוב, 2009).

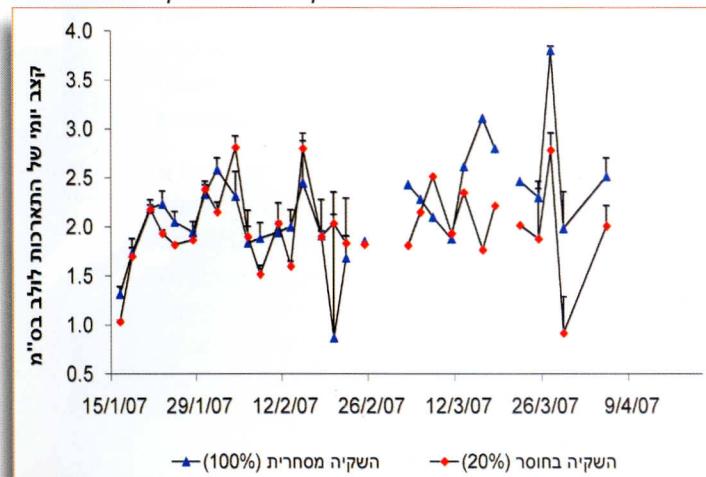
צלומים תרמיים אלכסוניים

צלומים תרמיים ראשונים נערכו בתאריך 26.4.07 במתע תמרים בקי"ה. הצלומים התרמיים בוצעו במלכמתה תרמית לא מדוררת, עם חישון מיקרובולומטר (BCAM FLIR systems, Portland, Or, USA) הרגיש לתחום הספקטראלי של 7.5-13 מ"ג. הטמפרטורה נמדדה ברגרושים של 0.1 בעלת זווית של 24 מעלות. הטמפרטורה נמדדה ברגרושים של 0.1 מ"ג, ובדיקות של 2-3 מ"ג. הרזולוציה המרחבית של המצלמה הייתה 120×120 פיקסללים. המצלמתה התרמית הורכבה על מנוף בגובה של 5-5 מ' מעל העצים ובצעו צילומים אלכסוניים, כך שהם מכיסים עצים משני הטייפוליים. ערכיו טמפרטורה של חותם עצי התamar מכל טיפול חושבו מהצלומים התרמיים האלכסוניים על ידי שימוש בכל SRO של תוכנת ThermaCamResearcher של Chb' FLIR Systems, שוודיה. תמונה 1 (בעמוד הבא) מראה צילום תרמי אלכסוני מעלה הגבול שבין שני טיפולים ההשקה במתע קל"ה. הבדל הטמפרטורות של עליות העצים היה 2 מ' צ' בקירוב.

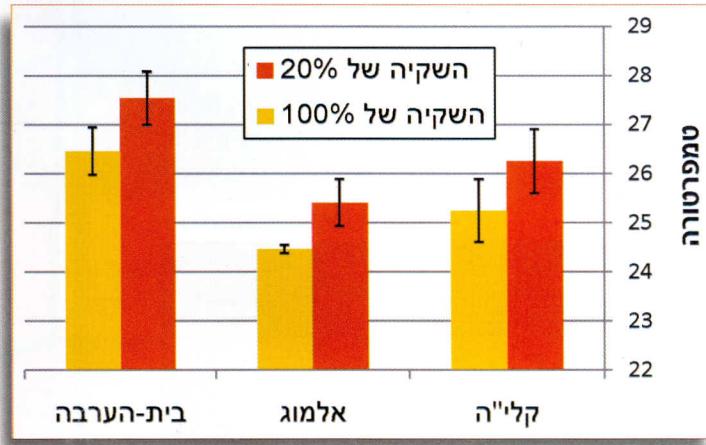
להשquetות מעבר לכמות המומלצת כיוון שהמודיע לגבי השקיה בגין זה מוגבל וסבירים כלים זמינים לשימוש מסחרי לניטור מצב המים בעצים. בערבה יכולת ההשquetה השנתית לעץ תמר בוודת הגעה לכדי 200 מ'ק מים. ניתור מצב המים של כל עץ בודד הינו הצעד הראשון לניהול השקיה חכמה עבור גידול רווחי זה.

השיטה העיקרית ליזיהו מרחוק של עקט מים בצוותה היא באמצעות שימוש בחלק התרמי של הספקטרים האלקטרומגנטי. כבר לפני כ-40 שנה נכתב על הקשר בין טמפרטורת נוף הצומח וMbps המים (Ehrler, 1973). מערכות צילום תרמי ברזולוציה גבוהה שמשו להערכת Mbps המים של מספר סוגים וגידולים, בהם כותנה, Cohen et al., 2005; Sepulcre-Canto et al., 2006; Grant et al., 2007; Tilling et al., 2007). טטרת המאקרו רוא להעיר את הפוטנציאלי הטען בצלומים תרמיים מוטסים לניטור Mbps המים של עצי תמר.

איור 1: שיעור יומי של התארוכות לולב בחורף 2007 במתע קל"ה



איור 2: ממוצע וסטיית תקן של טמפרטורת נוף העצים בכל טיפול בכל חלקה יומי. ניתן לראות כי טמפרטורת נוף העצים תחת השקיה מסחרית בכל חלקה יומי נמוכות יותר



צלומים תרומיים מוטסרים

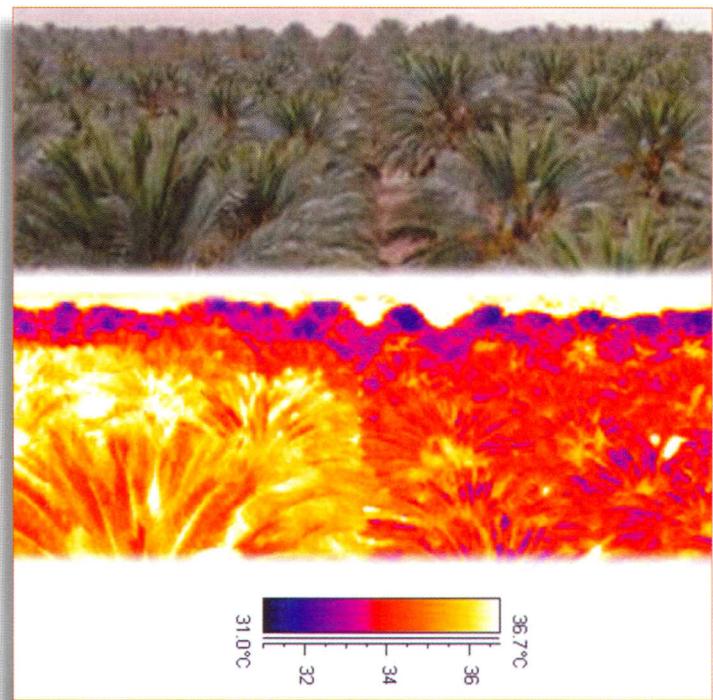
בעקבות ההבדלים שנתקבלו בטמפרטורות הנוף באמצעות הצלומים האלכסוניים, בוצעו בתאריך 9.4.08 9 צילומים תרמיים מוטסרים על מנת תתרם מושרים לאורק בקעת הירדן. צלימת عشرות חלקות - מעליה מ-25,000- עצים, ובון שלוש חלקות הניסוי. נמצאה שונות רבה בין חלקות שונות ובין עצים בתוך החלקות, כתלות בזון, בגוד העצים, במסטר ההשקייה ובגורמים אחרים. בעת הצלום היה אוביך והশמיים היו מעט מעורפלים. בתנאים אלה, בהיעדר קרינה ישירה, טמפרטורת הנוף אינה מוגעה לשיאיה וההבדלים בטמפרטורות הנוף בין העצים תחת רמות ההשקייה השונות היו נמוכים מהצפוי. הצלומים התרמיים בוצעו בצלמה תרמית לא מקוררת (FLIR) ThermaCAM model SC2000, BCAM systems (עם מאפיינים דומים למצלמות BCAM, אך עם רזולוציה מרחבית של 320 x 240 פיקסלים. הצלומים המוטסרים בוצעו מגובה של כ-500 מ' מעל הקרקע בערזולציה מרחבית של 0.7 מ'. הצלומים המוטסרים עבדו כדי לmaps את טמפרטורת חותף עצים התחנה. ראשית, הצלומים המוטסרים (תמונה 2) הומרו לצילומים בגוני אפור (Cohen et al, 2005) ועברו ייחוס גיאוגרפי לרשת Leica ERDAS-IMAGINE (Geosystems A.G. Inc., Heerbrugg, Switzerland).

■ דיווח נבולות העצים וחישוב טמפרטורת העלווה: מושפעת הטמפרטורת של חותף העצים נمواה בהרבה בהשוואה לטמפרטורה של הקרקע שמקיפה אותו (תמונה 2). תיאור גרפי של הצלום יכול להיות מוצג כækנים המתחלאים בהדרגה עד לטמפרטורת הסף מושגנת. לכן, כדי לקבוע את גבולות החותפה של עצים ועץ, ולהפריד בין הפיקסלים של העצים לבין פיקסליהם של הקרקע, עבדו הצלומים באמצעות אלגוריתם watershed (Inc., Natick, MA, USA The Mathworks) באמצעים Matlab R13 בתוכנת watershed (תמונה 3).

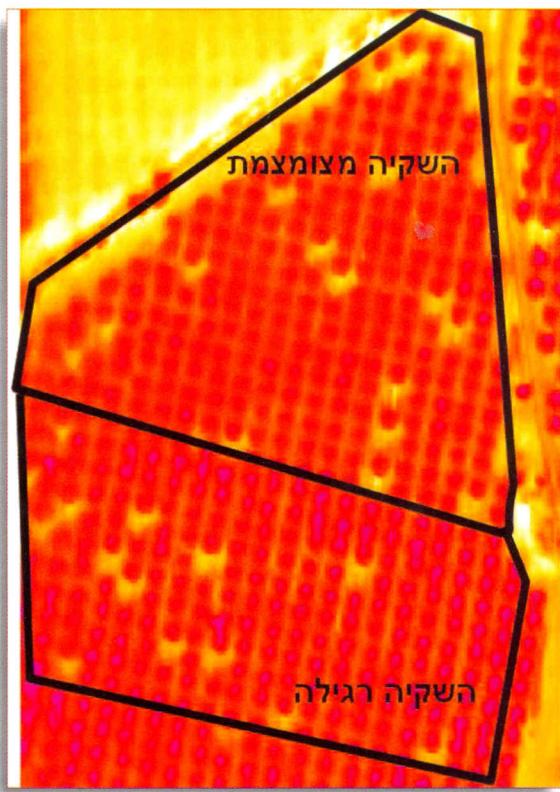
סדרה אקראית של חמשה עד עשרה עצים נבחרה מכל טיפול מכל אחת משש חלקות הניסוי (תמונה 4), תחאת אילוץ של מרכיב טיעני בין העצים שנבחרו (30 מ') על מנת להימנע מאוטוקורלציה מרחבית. לבסוף, ערכו הטמפרטורה של סדרות העצים מכל טיפול נזחוח באמצעות מבחן סטטיסטי ANOVA single factor analysis (ANOVA). אויר 2 (בעמוד קודם) מראה את ההיסטוגרמות של טמפרטורות הנוף של עצים התמר שנבחרו בכל טיפול בכל אחת משש חלקות הניסוי. ניתן לראות כי הטמפרטורות של הטיפול המסחררי (השקייה ב-100%) נמוכות ב-1 מ"ץ מאשר של ההשקייה המומוחתת. לעומת זאת, הנטיגנים בין הטמפרטורות ומספר העצים הקטן שנבחר, הניתן הסטטיסטי מראה כי ההבדלים שנמצאו בכל חלקו מובהקים (טבלה).

טבלה: סיכום הניתנות הסטטיסטי

p-value	הפרש הטמפרטורות בין העצים מושן (מ"ץ)	מספר עצים שנבחרו לניתוח הסטטיסטי	מטע
0.0027	1.01	10	קל"ה
0.0026	0.94	5	אלמוג
0.0004	1.08	9	בית הערבה



תמונה 1: צילום אלכסוני בצלמה רגילה (למעלה) ובצלמה תרמית (למטה) מעל מטע תרמי 26.4.07. מופיע השקייה מסחרית, ממשאל השקייה של 20% מההשקייה המסחרית. הצבעים בתמונה מדגימים את טמפרטורת העצים לפי הסקלה המצורפת



תמונה 2:
צלום תרמי אווורי
מעל מטע תרמי בצלם קדום. להלכה התהווות ניתנת בכמה השקייה בקצב
ולעלונה נתנה השקייה של 20% מטעה.
צלום על ידי
בח' PAM

דין

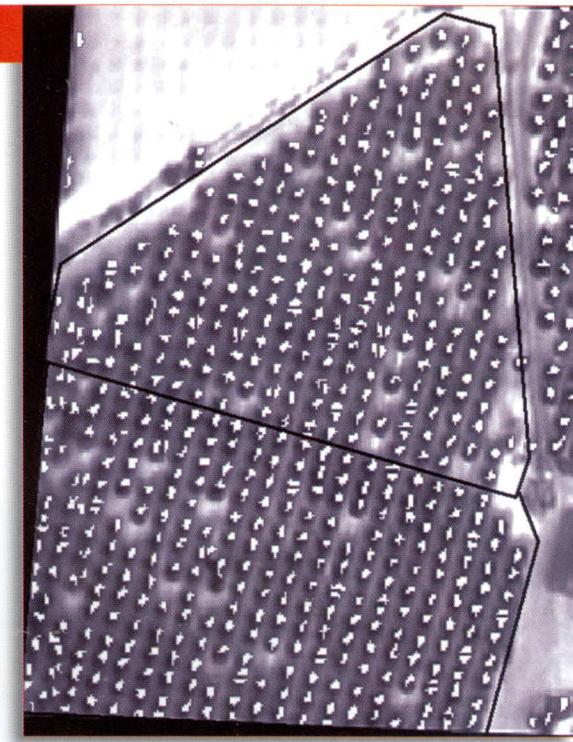
בשונה מרבית העצים, עצי תמר הם חדים פסיגיים ומערך הוווסקולרית שלהם שונה - היא מורכבת מאלפי צורות הובילות מבודדים המכילים כל אחד צינורות עצה ושייפה, ומערך השורשים שלהם מורכבת משדרים ראשוניים (Tomlinson, 1990). שיטת הצריכה של המים שפותחה עבור עצים דז'סיגיים לא בהכרח יכולה להיות מיוושמת על עצי תמר. רוב הניסיונות להעריך את צריכת המים בעצי תמר היו מבוססים עד כה על מדידות עיקיפות של חקלות מים בקרקע. מערך השורשים הייחודי ונפה שורשים עצם הופך שיטה זו בלתי מדויקת. בנוסף, נעשו ניסיונות למעקב אחר צריכת המים בעצי תמר בהתבסס על שיטת flow SAP (Sellami et al., 2003) ושיטות של מוליכות חשמלית (Nadler et al., 2008). שיטות אלו יכולות להיות טובות עבור ניטור עצ בודד או מספר עצים במטע, אך אף לא אחת מהן מציעה כדי לניטור מצב המים לכל העצים במטע מסחרי נרחב.

כאמור, הערצת מצב המים באמצעות צילום תרמי בזעעה במחקרנים אחרים עברו סוגים שונים של גידולים ומטיעים. אחת המגבליות ביישום טכניקה זו היא שנדרשת בחירה של פיקסלים טהורים של נוף העצים בלבד. כל מדידה של קרקע עלולה לגרום לתוצאות מטעות במצב המים בעצים. על מנת לבור על מגבלה זו שולבו הצילומים התתרמיים עם צילומים בתחום הנראה והאינפרא-אדום הקרוב (Clarke, 1997; Sepulcre-Canto et al., 2006; Moller et al., 2007).

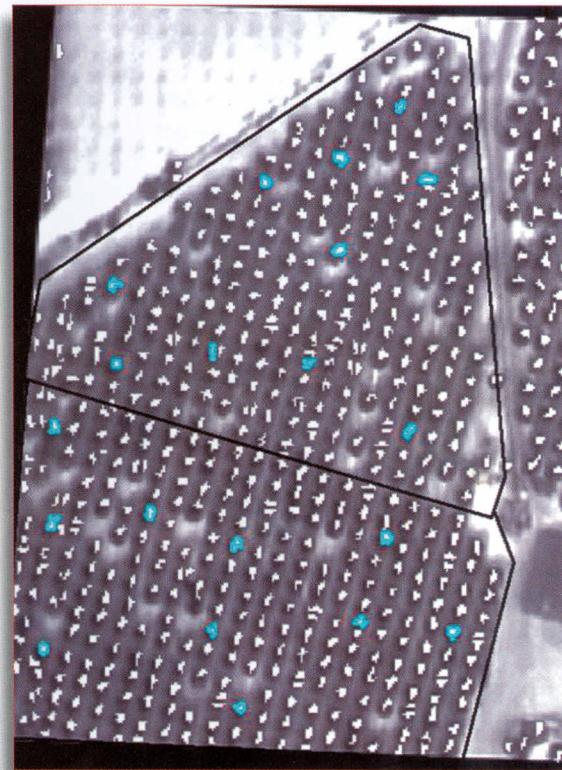
בעצי תמר ניתן לפטור בעיה זו בפתרונות ייחודי: חופת העצים גדולה מאוד - היחס של הקרקע להרים לכדי 25-50 מ'ר, והובדה כי אין חיפפה בין חופות העצים השכנים לאפשרות זיהוי של פיקסלים טהורים של עצים בודדים בהתבסס על צילומים תרמיים בלבד,ليلא צורך בצלומים בתחום הנראה והאינפרא-אדום הקרוב. במחקר זה הרינו, כי שימוש באגגוריתם watershed לאלה בצורה טובאה את עצי התמר בצלום התתרמי. וכי, הליקים לשוחות בצורה טובאה את עצי התמר בצלום התתרמי. וכי, הליקים פשוטים נוספים אפשרים בחירה של פיקסלים טהורים של חופת עצים בתוך העץ עצמו. בסופן נמצאו, כי באמצעות צילום תרמי ניתן להבחין הבדל משמעותי בטמפרטורת של עצי תמר תחת שתי רמות השקיה. התנאים המטאורולוגיים ביום הצילום התרמי לא היו מיטביים. דבר זה יכול להסביר את ההבדל הקטן של 1 מ'צ' בלבד בין הטמפרטורות של נוף העצים תחת שני טיפול ההשקייה. אנו צופים שתחת תנאים מטאורולוגיים מיטביים, גם הבדלים קטנים בזמןם הימים יהיו ניתנים לפחות באמצעות צילומים תרמיים. הניסוי המתואר במאמר זה נערך בתקופת החורף. בעונה החמה אנו מצפים שהבדלים במאזן המים של הצמח ובטיום בטמפרטורת העלווה יהיו בולטים יותר.

מסקנות וכיוני מחקר עתידיים

מחקר זה הראה כי הבדלים בטמפרטורת כוורת העץ מצביים על הבדלים במצב המים, כפי שਮudyים ההבדלים בקצב התארכות הלולב בשליש האחרון של הניסוי. תוצאות אלו מראות כי צילום תרמי מהווה כלי פוטנציאלי לניטור מצב המים בעצי תמר. כגדיל



תמונה 3:
פוליגונים של
מתחאר נוף עצים
התמר לאחר
שימוש באלגוריתם,
watershed
מטע קל"ה.



תמונה 4:
סדרת העצים
שנבחרו מכל
טיפול לניתוח
הסטטיסטי.
מטע קל"ה.
ניתוח תמונה 2

עם זאת, ההבדלים בין הטיפולים אינם מוחלטים. למשל, בטמפרטורת הנוף של העצים המושקים ב-100% בבית העובה גבוהה מזו של העצים המושקים ב-20% בחלקות של קל"ה ואלמו. תוצאות אלו מראות, כי הטמפרטורה מצילומים תרמיים מהוות בשלב הנוכחי כלי ייחודי בלבד. ההבדלים בין החלקות יכולים לבוא למשל מיעוטו השקיה שונה ביחס למועד הצילום.

- וטיפולים נגד פטריות להפחמת יודות נפלת יודות ב'מג'הול'. עלהן הנוטע' 63, 38-42.
3. קרמר ש', קירט מ', ינאי ! (2006): השקיות תמרים מז'ן 'מג'הול' במטע מושב חצבה - תמר מהגדבה. דוח' בינוי לטיכום התקופה 7.2006-10.2005.
 4. קרמר ש', קירט מ', ינאי ! (2007): השקיות תמרים מז'ן 'מג'הול' במטע מושב חצבה - תמר מהגדבה. דוח' לתקופה 11.2006-10.2007.
5. Clarke T.R. (1997): An empirical approach for detecting water stress using multispectral airborne sensors. Horticulture Technology, 7: 9-16.
6. Cohen Y., Alchanatis V., Meron M., Saranga Y. (2005): Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. International of Experimental Botany, 56, (417), 1843-1852.
7. Ehrler W.L. (1973): Cotton leaf temperatures as related to soil water depletion and meteorological factors. Agronomy Journal 65, 404-409.
8. Grant O.M., Tronina L., Jones H.G., Chaves M.M. (2007): Exploring thermal imaging variables for the detection of stress responses in grapevine under different irrigation regimes. Journal of Experimental Botany, 58 (4): 815-825.
9. Liebenberg P.J., Zaid A. (1999): Date Palm Irrigation. In: Zaid, A. (ed) Date Palm Cultivation. Plant Pruduction and Protection Paper 156, FAO, Rome, pp 130-143.
10. Moller M., Alchanatis V., Cohen Y., Meron M., Tsipris J., Naor A., Ostrovsky V., Sprintsin M., Cohen S. (2007): Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. International Journal of Experimental Botany, 58(4): 827-838
11. Nadler A., Raveh E., Yermiyahu U., Kado M., Nasser A., Barak M., Green S. (2008): Detecting water stress in trees using stem electrical conductivity measurements. Journal of the Soil Science Society of America, 72: 1014-1024.
12. Sellami M.H., Sifaoui M.S. (2003): Estimating transpiration in an intercropping system measuring sap flow inside the oasis. Agricultural Water Management 59, 191-204.
13. Sepulcre-Canto G., Zarco-Tejada P.J., Jimenez-Munoz J.C., Sobrino J.A., de Miguel E., Villalobos F.J. (2006): Detection of water stress in an olive orchard with thermal remote sensing imagery. Agricultural and Forest Meteorology, 136(1-2): 31-44.
14. Tilling A.K., O'Leary G.J., Ferwerda J.G., Jones S.D., Fitzgerald G.J., Rodriguez D., Belford R. (2007): Remote sensing of nitrogen and water stress in wheat. Field Crops Research, 104: 77-85.
15. Tomlinson P.B. (1990): The structural biology of palms. Oxford Science Publications, Oxford.
16. Tripler E., Ben-Gal A., Shani U. (2007): Consequence of salinity and excess boron on growth, evapotranspiration and ion uptake in date palm (*Phoenix dactylifera* L., cv. Medjool). Plant and Soil. 297:147-155.
17. Zaid A., De Wet P.F. (1999): Origin, geographical distribution and nutritional values of date palm. In Date Palm Cultivation Ed. A. Zaid. FAO, Rome, pp. 29-44. ■■■

בעל רוחigkeit גבוהה, יש חשיבות ליטור מצב המים של כל עץ בודד במטיע תמרים, מאחר שהדבר אפשר גילוי מוקדם של השקייה לקויה הנורמת להפחמת ביבול. צילום תרמי יכול להוביל לחיסכון בסמים באופן רחב יותר. כפי שנאמר לעיל, דגימות ביבול שנלקחו מטיפול השקייה של 20% בשלוש הקלות הניסוי לא הראו הפחתה בכמות הביבול. דבר זה מצביע על האפשרות להוריד בכמותי ההשקיה לפחות בתקופה החורף. לצד נתונים אלה יש להוסיף את תוצאות ניסוי ההשקיה הרב-שנתי שמתיקיים באזרע הערכה, בו הורדה של 30% ברמות ההשקיה במשך כל העונה לא השפיעה על הצמיחה ועל מאפייני הביבול (קרמר, 2006; קרמר, 2007). אם גישת הצלומים התרכזים המוטבים תשפר את אמינות ניטור מצב המים של עצי תמר בודדים, אנו מקווים שייהי ניתן לסייע באיזושם השקייה מופחתת על ידי חקלאים.

במחקר רב שנתי שחל השנה בשיתוף עם חוקרים ממו"פ צפון וממו"פ ערבה דרוםיה, אנו הולכים צעד אחד הלאה ומתמקדים בקשרות ההבדלים בטמפרטורת הcornerת למצב המים הממשי בעצי תמר. לצורך זה, במקביל לצילומים תרמיים, אנו מודדים מדדים פיזיולוגיים כגון דיוות, פעילות פוטוסינטטיית, מוליכות פיאניות ופוטנציאלי מים בסנסן. אנו מאמינים שעבודה זו תוביל להבנה טוביה יותר של מזון הימים והטרנסpirציה בצמח, הקשר שליהם לשינויים בטמפרטורה של כורתה העץ, לפיתוחם כל' לבקרה ויעילה של ההשקיה בתמרים ומעבר מכלי לניטור וחיסוי של עתקת מים לניטור כמותן.

ספרות

1. ברנשטיין צ. (2004): התמר. המועצה ליצור ושיווק פריות.
2. סורוקר א., כהן י., בנ-צבי ר., פרימן ס., צובל א., נקש י., ביטון ש. (2009): תופעת התיבשות וניפויות יdotot בעצי תמר מז'ן 'מג'הול'. במצבם השקייה

מברשות לתקלאות



יצור וחידוש מברשות לפי הזמן

המברשת רוחמה המחלקה למברשות טכניות

טלפון: 08-6807161, פקס: 08-6807177, טלפפון: 054-7995122

Էլեկտրոն: krgolan@gmail.com
WEBSITE: www.kronline.co.il