



עדי פריגוז'ין

## הערכת מצב המים בעצי תמר באמצעות צילומים תרמיים

עדי פריגוז'ין / המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן גוריון; המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני  
יפית כהן, ויקטור אלחנתי, אשר לוי / המכון להנדסה חקלאית, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני  
ויקטוריה סורוקר / המחלקה לאנטומולוגיה, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני  
יובל כהן / המכון למדעי הצמח, מינהל המחקר החקלאי, מרכז וולקני



מחנך Google Earth

### מבוא

ענף התמר הינו אחד מענפי המטע החשובים במזרח התיכון ובצפון אפריקה ויש לו חשיבות כלכלית גדולה במדינות רבות באזורים אלה (ברנשטיין, 2004; Zaid and De Wet, 1999). בשנים האחרונות התרחב הענף באזורים הצחיחים החמים בישראל, לאורך בקעת הירדן והערבה, והגיע להיקף של כ-40,000 ד'. עץ התמר (*Phoenix dactylifera* L.) הינו צומח תרמופילי ועמיד לריכוזים גבוהים של מלחים (Tripler et al., 2007), מאפיינים שהפכו אותו לגידול המטע העיקרי של נאות המדבר. אולם, עץ זה זקוק לכמות מספקת של מים ובאיכות סבירה על מנת להגיע לרמת היבול הפוטנציאלית (Liebenberg and Zaid, 1999). ברוב אזורי הגידול של התמר שיטת ההשקיה המקובלת היא הצפה, בעוד שבשראל ההשקיה מתבצעת באמצעות טפטוף או המטרה. שיטות אלו, יחד עם מיקרו-השקיה, נחשבות ליעילות וחסכוניות יותר. חישוב כמות המים הדרושה להשקיית עצי תמר נעשה בשיטות שונות. בישראל, ארה"ב ודרום אפריקה משתמשים לעתים תכופות בשיטת האידיוי בגיגית, מאחר שהמידע המתקבל באמצעות שיטה זו זמין באופן מיידי (Liebenberg and Zaid, 1999). מגדלי תמרים בישראל, כמקדם ביטחון, נוהגים

גדלי תמרים בישראל נוהגים להשקות מעבר לכמות המומלצת כיוון שהמידע לגבי השקיה בגידול זה מוגבל, וחסרים כלים זמינים לשימוש

מסחרי לניטור מצב המים בעצים. השיטה העיקרית לזיהוי מרחוק של עקת 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 סוגי מטעים וגידולים, בהם כותנה, חיטה, כרם ענבים וכרם זיתים. מטרת המאמר שלפנינו היא להעריך את הפוטנציאל הטמון בצילומים תרמיים מוטסים לניטור מצב המים בעצי תמר.

בתמונה למעלה: צילום אווירי של שלוש חלקות הניסוי

## שיטות מחקר ותוצאות

ניטור שלוש חלקות תמרים מזן 'מג'הול' בצפון בקעת ים המלח בוצע בשנים 2007-2009. במהלך חודשי החורף, ינואר עד אפריל, ניתנו ל-100-200 עצים בכל חלקה, כמויות של 20% מההשקיה המסחרית (סורוקר וחוב', 2009). כמות ההשקיה המסחרית נקבעה על פי מקדם של 0.65 התאדות מגיית, כאשר מנות ההשקיה בתקופה זו של השנה ניתנו כל שלושה-ארבעה ימים.

## קצב התארכות לולב

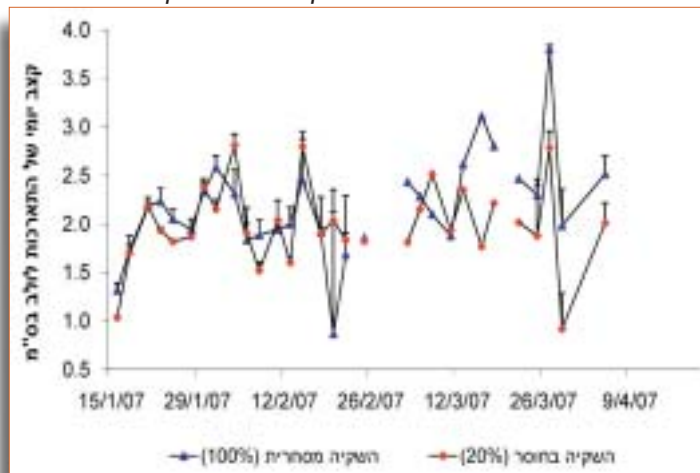
קצב התארכות לולב במהלך תקופת הניסוי הושווה בין שלושה עצים בכל חלקה ובכל רמת השקיה - מסחרית, ו-20% ממנה. סרגלי מדידה חוברו באמצעות חוט לקצה הלולב, כאשר הצימוח האנכי שלו משך את החוט והציג את התארכותו המדויקת על סרגל המדידה (ברנשטיין, 2004). התארכות הלולב חולקה לזמן שבין כל שתי מדידות, על מנת לקבל את קצב צימוח הלולב היומי הממוצע. איור 1 מציג את קצב התארכות הלולב הממוצע לשלושה עצים מכל טיפול, מאמצע ינואר ועד לשבוע הראשון של אפריל 2007 במטע תמרים של קיבוץ קלי"ה. ההבדלים בקצב הצימוח בין שני טיפולי ההשקיה עולים עם הזמן, ומאמצע חודש מרץ ההבדלים הללו מובהקים. יש להדגיש שצמצום ההשקיה נעשה רק בתקופת החורף ובאביב המוקדם, בה עקת החום וקצב ההתאדות נמוכים יחסית. צמצום ההשקיה לא פגע בפריחה ובחנטה, רק עיכב את קצב יציאת התפרחות וקצב התפתחות החנטים בתקופת ההשקיה המצומצמת. לאחר חידוש ההשקיה לרמה הרגילה הצטמצמו הפערים, ובגיד לא נמצא שינוי משמעותי בגודל הפרי וביבול הממוצע לעץ (סורוקר וחוב', 2009).

## צילומים תרמיים אלכסוניים

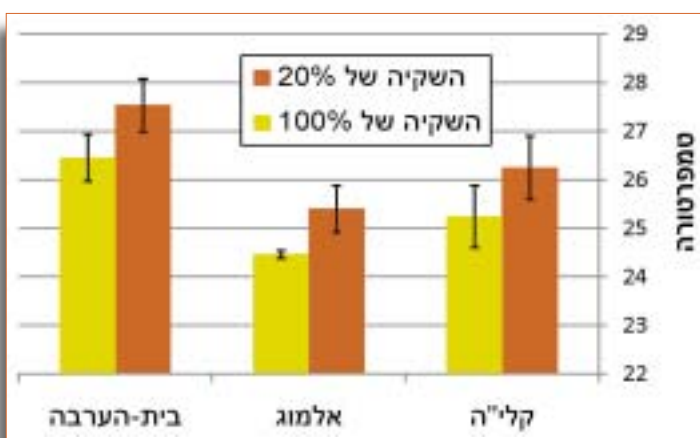
צילומים תרמיים ראשונים נערכו בתאריך 26.4.07 במטע תמרים בקלי"ה. הצילומים התרמיים בוצעו במצלמה תרמית לא מקוררת (BCAM FLIR systems, Portland, Or, USA) עם חיישן מיקרובולומטר, הרגיש לתחום הספקטרום של 7.5-13 מיקרומטר ובעל עדשה בעלת זווית של 24 מעלות. הטמפרטורה נמדדה ברגישות של 0.1 מ"צ, ובדיוק של 2-מ"צ. הרזולוציה המרחבית של המצלמה הייתה 120 x 120 פיקסלים. המצלמה התרמית הורכבה על מנוף בגובה של כ-5 מ' מעל נוף העצים ובוצעו צילומים אלכסוניים, כך שהם מכסים עצים משני הטיפולים. ערכי טמפרטורה של חופת עצי התמר מכל טיפול חושבו מהצילומים התרמיים האלכסוניים על ידי שימוש בכלי ARO של תוכנת ThermaCamResearcher של חב' FLIR Systems, שוודיה. תמונה 1 (בעמוד הבא) מראה צילום תרמי אלכסוני מעל הגבול שבין שני טיפולי ההשקיה במטע קלי"ה. הבדל הטמפרטורות של עלוות העצים היה 2 מ"צ בקירוב.

להשקות מעבר לכמות המומלצת כיוון שהמידע לגבי השקיה בגידול זה מוגבל וחסרים כלים זמינים לשימוש מסחרי לניטור מצב המים בעצים. בערבה יכולה ההשקיה השנתית לעץ תמר בודד להגיע לכדי 200 מ"ק מים. ניטור מצב המים של כל עץ בודד היווה הצעד הראשון לניהול השקיה חכמה עבור גידול רווחי זה. השיטה העיקרית לזיהוי מרחוק של עקת מים בצומח היא באמצעות שימוש בחלק התרמי של הספקטרום האלקטרומגנטי. כבר לפני כ-40 שנה נכתב על הקשר בין טמפרטורת נוף הצומח ומצב המים (Ehrler, 1973). מערכות צילום תרמי ברזולוציה גבוהה שימשו להערכת מצב המים של מספר סוגי מטעים וגידולים, בהם כותנה, חיטה, כרם ענבים וכרם זיתים (Cohen et al., 2005; Sepulcre-Canto et al., 2006; Grant et al., 2007; Moller et al., 2007; Tilling et al., 2007). מטרת המאמר היא להעריך את הפוטנציאל הטמון בצילומים תרמיים מוטסים לניטור מצב המים של עצי תמר.

איור 1: שיעור יומי של התארכות לולב בחורף 2007 במטע קלי"ה



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



## צילומים תרמיים מוטסים

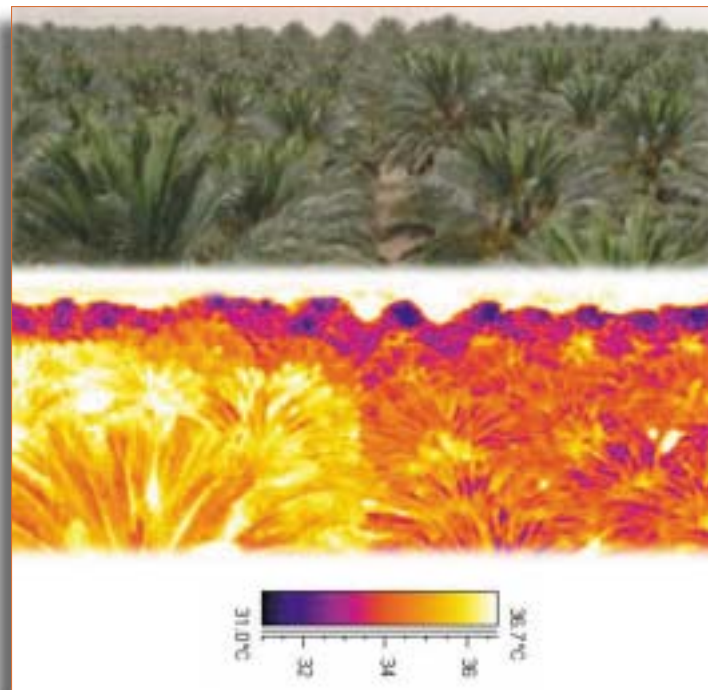
בעקבות ההבדלים שנתקבלו בטמפרטורות הנוף באמצעות הצילומים האלכסוניים, בוצעו בתאריך 9.4.08 צילומים תרמיים מוטסים מעל מטעי תמרים מסחריים לאורך בקעת הירדן. צולמו עשרות חלקות - למעלה מ-25,000 עצים, ובהן שלוש חלקות הניסוי. נמצאה שונות רבה בין חלקות שונות ובין עצים בתוך החלקות, כתלות בזן, בגיל העצים, במשטר ההשקיה ובגורמים אחרים. בעת הצילום היה אובר והשמים היו מעט מעורפלים. בתנאים אלה, בהיעדר קרינה ישירה, טמפרטורת הנוף אינה מגיעה לשיאה וההבדלים בטמפרטורות הנוף בין העצים תחת רמות ההשקיה השונות היו נמוכים מהצפוי. הצילומים התרמיים בוצעו במצלמה תרמית לא מקוררת (ThermaCAM model SC2000, FLIR systems) עם מאפיינים דומים למצלמת BCAM, אך עם רזולוציה מרחבית של  $320 \times 240$  פיקסלים. הצילומים המוטסים בוצעו מגובה של כ-500 מ' מעל הקרקע ברזולוציה מרחבית של 0.7 מ'. הצילומים המוטסים עובדו כדי למפות את טמפרטורת חופת עצי התמר. ראשית, הצילומים המוטסים (תמונה 2) הומרו לצילומים בגוני אפור (Cohen et al, 2005) ועברו ייחוס גיאוגרפי לרשת קואורדינטות UTM באמצעות תוכנת Leica ERDAS-IMAGINE (Geosystems A.G. Inc., Heerbrugg, Switzerland).

■ **זיהוי גבולות העצים וחישוב טמפרטורת העלווה:** משרעת הטמפרטורות של חופת העצים נמוכה בהרבה בהשוואה לטמפרטורה של הקרקע שמקיפה אותם (תמונה 2). תיאור גרפי של הצילום יכול להיות מוצג כשקעים המתמלאים בהדרגה עד שטמפרטורת הסף מושגת. לכן, כדי לקבוע את גבולות החופה של כל עץ ועץ, ולהפריד בין הפיקסלים של העצים לבין פיקסלים של הקרקע, עובדו הצילומים באמצעות אלגוריתם watershed בתוכנת Matlab R13 (The Mathworks) (Inc., Natick, MA, USA) (תמונה 3).

סדרה אקראית של חמישה עד עשרה עצים נבחרה מכל טיפול מכל אחת משלוש חלקות הניסוי (תמונה 4), תחת אילוף של מרחק מינימלי בין העצים שנבחרים (30 מ') על מנת להימנע מאוטוקורלציה מרחבית. לבסוף, ערכי הטמפרטורה של סדרות העצים מכל טיפול נותחו באמצעות מבחן סטטיסטי ANOVA single factor analysis. איור 2 (בעמוד קודם) מראה את ההיסטוגרמות של טמפרטורות הנוף של עצי התמר שנבחרו בכל טיפול בכל אחת משלוש חלקות הניסוי. ניתן לראות כי הטמפרטורות של הטיפולים המסחרי (השקיה ב-100%) נמוכות ב-1 מ"צ מאלו של ההשקיה המופחתת. למרות ההבדלים הקטנים בין הטמפרטורות ומספר העצים הקטן שנבחר, הניתוח הסטטיסטי מראה כי ההבדלים שנמצאו בכל חלקה מובהקים (טבלה).

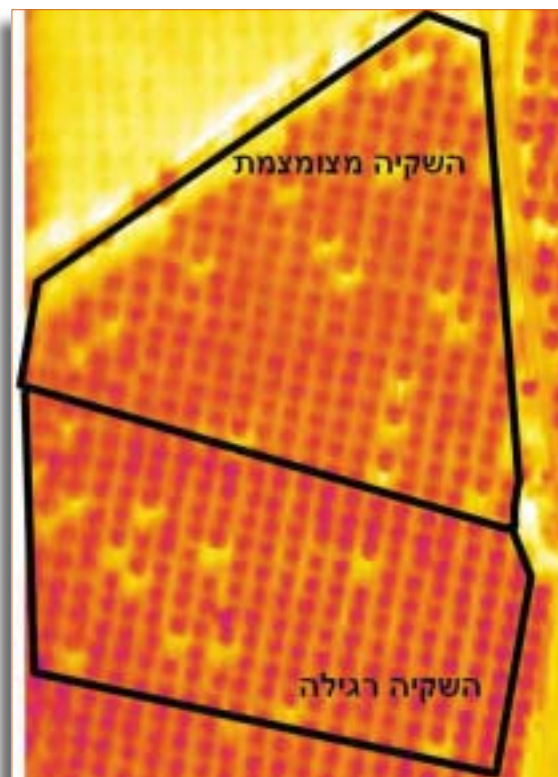
טבלה: סיכום הניתוח הסטטיסטי

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



צילום: ויקטור אלחנתי

תמונה 1: צילום אלכסוני במצלמה רגילה (למעלה) ובמצלמה תרמית (למטה) מעל מטע תמרים בקל"ה, 26.4.07. מימין השקיה מסחרית, משמאל השקיה של 20% מההשקיה המסחרית. הצבעים בתמונה מדגימים את טמפרטורת העצמים לפי הסקלה המצורפת



תמונה 2: צילום תרמי אווירי מעל מטע תמרים בקל"ה. לחלקה התחתונה ניתנה השקיה בכמות המסחרית ולעליונה ניתנה השקיה של 20% ממנה. צולם על ידי חב' PAM



## דין

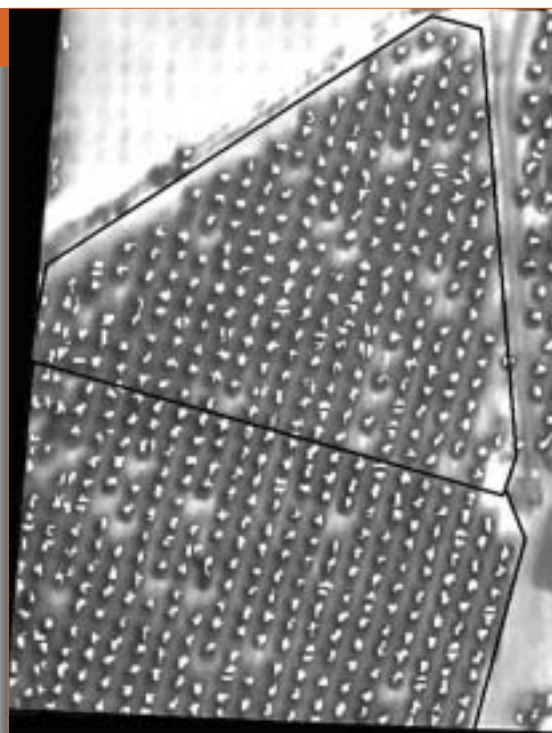
בשונה ממרבית העצים, עצי תמר הם חד פסיגיים והמערכת הווסקולרית שלהם שונה - היא מורכבת מאלפי צורות הובלה מבודדים המכילים כל אחד צינורות עצה ושיפה, ומערכת השורשים שלהם מורכבת משורשים ראשוניים (Tomlinson, 1990). שיטת הצריכה של המים שפותחה עבור עצים דו פסיגיים לא בהכרח יכולה להיות מיושמת על עצי תמר. רוב הניסיונות להעריך את צריכת המים בעצי תמר היו מבוססים עד כה על מדידות עקיפות של תכולת מים בקרקע. מערכת השורשים הייחודית ונפח שורשים עצום הופך שיטה זו לבלתי מדויקת. בנוסף, נעשו ניסיונות למעקב אחר צריכת המים בעצי תמר בהתבסס על שיטת SAP flow (Sellami et al., 2003) ושיטות של מוליכות חשמלית (Nadler et al., 2008). שיטות אלו יכולות להיות טובות עבור ניטור עץ בודד או מספר עצים במטע, אך אף לא אחת מהן מציעה כלי לניטור מצב המים לכל העצים במטע מסחרי נרחב.

כאמור, הערכת מצב המים באמצעות צילום תרמי בוצעה במחקרים אחרים עבור סוגים שונים של גידולים ומטעים. אחת המגבלות 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 לגבור על מגבלה זו שולבו הצילומים התרמיים עם צילומים בתחום הנראה והאינפרא-אדום הקרוב (Clarke, 1997; Sepulcre-Canto et al., 2006; Moller et al., 2007).

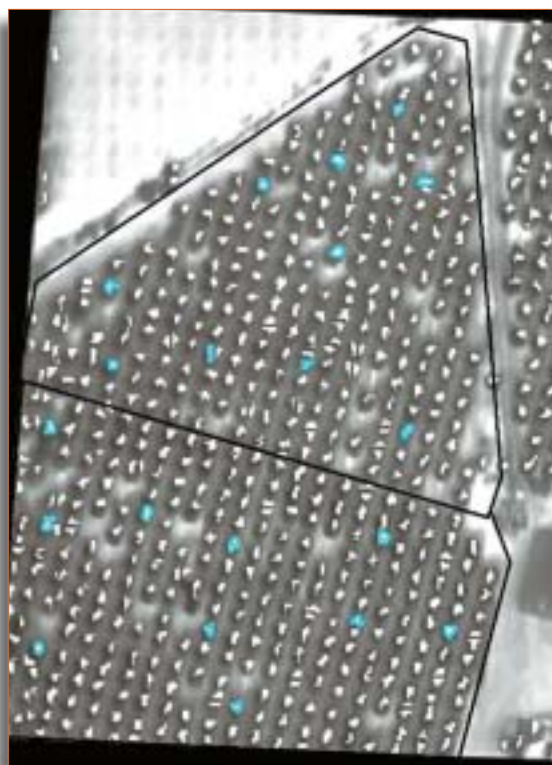
בעצי תמר ניתן לפתור בעיה זו בקלות יחסית: חופת העצים גדולה מאוד - ההיטל שלה יכול להגיע לכדי 25-50 מ"ר, והעובדה כי אין חפיפה בין חופות העצים השכנים מאפשרת זיהוי של פיקסלים טהורים של עצים בודדים בהתבסס על צילומים תרמיים בלבד, ללא צורך בצילומים בתחום הנראה והאינפרא-אדום הקרוב. במחקר זה הראינו, כי שימוש באלגוריתם watershed מאפשר לזהות בצורה טובה את עצי התמר בצילום התרמי. וכי, הליכים פשוטים נוספים מאפשרים בחירה של פיקסלים טהורים של חופת עצים בתוך העץ עצמו. בנוסף נמצא, כי באמצעות צילום תרמי ניתן לזהות הבדל משמעותי בטמפרטורות 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 טיפולי ההשקיה. אנו צופים שתחת תנאים מטאורולוגיים מיטביים, גם הבדלים קטנים בזמינות המים יהיו ניתנים לזיהוי באמצעות צילומים תרמיים. הניסוי המתואר במאמר זה נערך בתקופת החורף. בעונה החמה אנו מצפים שהבדלים במאזן המים של הצמח וביטויים בטמפרטורת העלווה יהיו בולטים יותר.

## מסקנות וכיווני מחקר עתידיים

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



תמונה 3:  
פוליגונים של  
מתאר נוף עצי  
התמר לאחר  
שימוש באלגוריתם  
watershed,  
מטע קלי"ה.



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

עם זאת, ההבדלים בין הטיפולים אינם מוחלטים. למשל, טמפרטורת הנוף של העצים המושקים ב-100% בבית הערבה גבוהה מזו של העצים המושקים ב-20% בחלקות של קלי"ה ואלמוג. תוצאות אלו מראות, כי הטמפרטורה מצילומים תרמיים מהווה בשלב הנוכחי כלי יחסי בלבד. ההבדלים בין החלקות יכולים לנבוע למשל מעיתוי השקיה שונה ביחס למועד הצילום.

- וטיפולים נגד פטריות להפחתת נפילת הידות ב'מג'הול'. 'עלון הנוטע' 42-38, 63.
3. קרמר ש., קירט מ., ינאי י. (2006): השקיית תמרים מזן 'מג'הול' במטע מושב חצבה - תמר מהמדבר. דו"ח ביניים לסיכום התקופה 2005-2006-7.
4. קרמר ש., קירט מ., ינאי י. (2007): השקיית תמרים מזן 'מג'הול' במטע מושב חצבה - תמר מהמדבר. דו"ח לתקופה 2006-11-10.2007.
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 Production and Protection Paper 156*, FAO, Rome, pp 130-143.
10. Moller M., Alchanatis V., Cohen Y., Meron M., Tzipris J., Naor A., Ostrovsky V., Spritsin 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 רווחיות גבוהה, יש חשיבות לניטור מצב המים של כל עץ בודד במטעי תמרים, מאחר שהדבר יאפשר גילוי מוקדם של השקיה לקויה הגורמת להפחתת היבול. צילום תרמי יכול להוביל לחיסכון במים באופן נרחב יותר. כפי שנאמר לעיל, דגימות יבול שנלקחו מטיפולי השקיה של 20% בשלוש חלקות הניסוי לא הראו הפחתה בכמות היבול. דבר זה מצביע על האפשרות להוריד בכמויות ההשקיה לפחות בתקופת החורף. לצד נתונים אלה יש להוסיף את תוצאות ניסוי ההשקיה הרב-שנתי שמתקיים באזור הערבה, בו הורדה של 30% ברמות ההשקיה במשך כל העונה לא השפיעה על הצמיחה ועל מאפייני היבול (קרמר, 2006; קרמר, 2007). אם גישת הצילומים התרמיים המוטסים תשפר את אמינות ניטור מצב המים של עצי תמר בודדים, אנו מקווים שיהיה ניתן לסייע באימוץ השקיה מופחתת על ידי חקלאים.

במחקר רב שנתי שהחל השנה בשיתוף עם חוקרים ממו"פ צפון וממו"פ ערבה דרומית, אנו הולכים צעד אחד הלאה ומתמקדים בקשירת ההבדלים בטמפרטורת הכותרת למצב המים הממשי בעצי תמר. לצורך זה, במקביל לצילומים תרמיים, אנו מודדים מדדים פיסיולוגיים כגון דיות, פעילות פוטוסינתטית, מוליכות פיוניות ופוטנציאל מים בסנסן. אנו מאמינים שעבודה זו תוביל להבנה טובה יותר של מאזן המים והטרנספירציה בצמח, הקשר שלהם לשינויים בטמפרטורה של כותרת העץ, לפיתוח כלי לבקרה יעילה של ההשקיה בתמרים ומעבר מכלי לניטור יחסי של עקת מים לניטור כמותי.

## ספרות

1. ברנשטיין צ. (2004): התמר. המועצה ליצור ושיווק פירות.
2. סורוקר ו., כהן י., בן-צבי ר., פרימן ס., צויבל א., נקש י., ביטון ש. (2009): תופעת התייבשות ונפילת ידות בעצי תמר מזן 'מג'הול'. צמצום השקיה

# מברשות לחקלאות

## ייצור וחידוש מברשות לפי הזמנה





**המברשת רוחמה המחלקה למברשות טכניות**

**ישיר: 08-6807161, פקס: 08-6807407**

**מפעל: 08-6807177, פלאפון: 054-7995122**

**kgolan@gmail.com**

**www.kronline.co.il**