

## שימוש בדנדרומטרים של גזע ככלי לבקרת משק המים בכרם יין

ישי נצר, שראל מוניץ, אלישיב דרורי, אמנון שוורץ\*

כרמי ענבי היין בישראל המיועדים לגידול ענבים עבור ייצור יין איכותי, מושקים במנות מים נמוכות מאוד, העומדות על 70–200 מ"ק מים לדונם לעונה, מכיוון שפרקטיקת הגידול מחייבת השריית עקת יובש. יישום מנות מים גבוהות מוביל ליבולים גבוהים יחסית, הנחשבים כפוגעים בהבשלת הפרי ובאיכות היין (Bravdo, et al., 1985).

אחד ההיבטים החשובים ביותר בגידול ענבים עבור ייצור יין הוא השקיה מושכלת שתאפשר קבלת איזון מיטבי בין שלושה גורמים: כמות הפרי, איכות היין וקיימות הכרם לאורך שנים. נוסף על כך, הצורך לחסוך במי ההשקיה הולך וגובר עם חלוף השנים בעקבות הירידה המתמדת בזמינותם באזורים שבהם מגדלים כרמי יין (Feres, & Soriano, 2007; Chaves et al., 2010). בענבי יין השריית עקת יובש מתונה היא פרקטיקת גידול הכרחית על מנת לקבל איכות יין גבוהה, וזאת בניגוד לענבי מאכל, שבהם נהוגה אסטרטגיית השקיה בלא עקת מים (Bravdo et al., 1985; Matthews & Anderson, 1988; Roby & Matthews, 2004). קיימים שני הסברים עיקריים לעובדה שעקת יובש בגפן מגבירה את פוטנציאל האיכות ביינות האדומים. האחד הוא שרוב חומרי הצבע והארומה בזנים האדומים נצברים באזור הקליפה, ועקת מים הגורמת לעיכוב גדילת הגרגר, גורמת להטיית יחס הקליפה/ציפה (Skin to Pulp ratio) לטובת הקליפה, ובעקבות כך מתקבל יין בעל ריכוז גבוה יותר של חומרי טעם וארומה (et al., 2009; Matthews, & Anderson, 1988; Roby, & Matthews, 2004; Girona). ההסבר השני הוא שעקת מים מהווה סיגנל לייצור מוגבר של חומרי טעם וארומה בגרגר (Castellarin et al., 2007). ככל הנראה, שני ההסברים נכונים ומתקיימים במציאות. להשריית עקת יובש חריפה מדי ייתכנו גם השלכות שליליות. בשנים האחרונות אנו עדים להשפעות השליליות של יישום קיצוני של השקיה גרעונית. תופעות אלו באות לידי ביטוי בפגיעה משמעותית במשך חיוניות הגפנים, ככל הנראה עקב בנייה של מערכת הידראולית בעלת יכולת הובלת מים מוגבלת, אשר בתנאי אקלים קיצוניים ומשטר מים מוגבל גורמת לתופעות של התייבשות עלים, הצטמקות גרגרים ופחיתת יבולים ניכרת (Coombe, & McCarthy, 2000; Kennedy, 2002).

המגמה הכללית בשנים האחרונות היא הרחבה מואצת של שטחי כרמי ענבי האיכות (שומרון, גולן, גליל ודרום הר חברון). עם ההבנה שהשקיה מושכלת היא כלי רב עצמה בהשפעה על איכות היין, קיימים עדיין פערי ידע משמעותיים בנושא זה. הסיבה העיקרית היא הצורך להתאים את משטר ההשקיה לאקלים הייחודי של כל אזור בישראל, השונה מהותית מתנאי האקלים והגידול השוררים בכרמי היין האירופיים (משקעים, קרינה, מבנה קרקע, התאדות, צפיפות נטיעה, זן, כנה וטיפול עלווה).

בעשור האחרון עסקנו בפיתוח מודל השקיה עבור כרמי ענבי מאכל (על בסיס ניסוי ליזמטרים בלכיש) והתאמתו עבור ענבי יין (חולדה, דולב, מבוא חורון, יתיר). המודל כורך את הגישה המטאורולוגית והפיסיולוגית יחדיו, בהתייחסו לשלבים הפנולוגיים של

התפתחות הגרגר ולגודל הנוף. המודל נותן מענה דינמי לצרכים הייחודיים של אזורי גידול שונים ויעדי גידול מגוונים (כמות, איזון בין כמות לאיכות, איכות). בשנתיים האחרונות החל לפעול בחלקת מחקר בשילה מערך ליזמטרים אוטומטי המודד את צריכת המים של ענבי איכות (קברנה סובניון). בעזרת הנתונים הללו ניתן לתקן את נוסחאות ההשקיה באופן פרטני לענבי יין בהדליית VSP (Vertical Shoot Position) המקובלת בענף. יישום של עקות יובש מחייב בקרה של משק המים של הגפן. קיימות שיטות רבות להערכת משק המים של הצמח וביניהן: מדידה של פוטנציאל המים בגזע ובעלים, מוליכות הפיוניות, פלורוסנציה של כלורופיל a, קצב זרימת המים בגזע (Sap flow) דנדרומטריה (ניתוח התרחבות והתכווצות הגזע/הענף/הפרי) וחיישני לחץ טורגור בעלה (Myburgh, 2009; Westhoff et al., 2009; Jones, 2007; Cifre et al., 2005; 1996). מבין כל המדדים הללו בדיקת פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Midday Stem Water Potential) הנעשית באמצעות תא לחץ (Scholander et al., 1965) על בסיס פרוטוקולים מסודרים (Turner, 1995; Boyer, 1988), מקובלת כמדד האמין והוותיק למשק המים של הצמח (Naor, 2000; Choné et al., 2001). נמצא כי נדרשות בין 4–15 מדידות של פוטנציאל מים בעלים באמצע היום כדי לאפיין חלקה (Naor, 2000; Kanety, 2010). מדידה זו מתבצעת יום לפני ההשקיה (במצבי עקת יובש הקיצוניים ביותר), והיא מוגבלת למשך כשעתים וחצי באמצע היום. על כן כמות המדידות או החלקות שניתן למדוד ביום, מוגבלת. מגבלה נוספת היא הצורך בכיסוי העלים בכיסוי כפול: בשקית פלסטיק (לעצירת הדיות) ובשקית כסופה (לעצירת ההטמעה). כל אלו גורמים להשקעה רבה בכוח אדם לצורך המדידה. בשל כך מתקיים חיפוש מתמיד אחר מדדים פיסולוגיים 'אוטומטיים', שמלבד החיסכון בכוח אדם עשויים לזרוע אור על התהליכים המתרחשים במהלך היום והלילה וכן על השינויים הפיסולוגיים בטווח הזמן שבין ההשקיות.

## מטרות המחקר

- א. בחינת ההשפעה של שלושה מקדמי השקיה גרעונית על פוטנציאל מים ועל המהלך היומי והעונתי של השינויים ברוחב הגזע
- ב. בחינה של התאמת נתוני דנדרומטרים של גזע כמדד המשקף את משק המים של הגפן

## חומרים ושיטות

### פירוט מערך הניסוי

חלקת הניסוי ממוקמת בתוך חלקה מסחרית של הזן קברנה סובניון (נטיעת 1999) על כנת רוג'רי (איור 1). חלקת הניסוי ממוקמת בתוך אזור של כ-200 דונמים בשיפולי היישוב דולב (32.1°N, 35.2°E). הקרקע באזור כבדה (טרה רוסה) ומשופעת באבנים. חלקות הכרם בנויות כמדרגות שהוכשרו בה, באופן שהסלעים והקרקע שנמצאו בחלקה הפנימי של החלקה, שוטחו בחלקה החיצוני. שורות ההדליה עוצבו במקביל לקווי הגובה כך שהשורות הפנימיות של החלקה נטועות בעיקר בקרקע רדודה ביותר על בסיס סלע היסוד, והשורות החיצוניות נטועות באדמת מילוי. על פי סידור זה מעוצבים הבלוקים של הניסוי (לאורך השורות).

כיוון השורות בכרם הוא צפון-דרום ( $18^\circ$ ), כשמרחקי הנטיעה קבועים ( $3 \times 1.30$  מ'), ומשמעותם 250 גפנים לדונם. הגפנים הודלו על הקורדונים בשיטת VSP. בניסוי חמישה טיפולי השקיה (במאמר זה מדווחים רק שלושה). מבנה ניסוי השדה הוא חד-גורמי בארבע חזרות במתכונת של בלוקים באקראי. כל חזרה כוללת קטע מוגדר של עשר גפנים על שלוש שורות כל אחת, כאשר שמונה הגפנים המרכזיות בשורה האמצעית מהוות את גפני המדידה, שבהן מבוצעות המדידות, וכל שאר הגפנים משמשות כגפני / שורות גבול. מערך הניסוי כולל מערכת מים ודישון נפרדת לחלקת הניסוי, וכל טיפול השקיה מפקד בנפרד ומצויד במונה מים נפרד.

ההשקיה התבצעה פעמיים בשבוע (בימים שני ושישי) בעזרת טפטפות מוסתות מתוצרת 'נטפים' בעלות ספיקה של 2.4 ליטר/שעה הממוקמות במרווחים של חצי מטר. ההשקיה התבצעה בבקרה של מחשב השקיה (דרים, טלגיל). כל טיפול השקיה הושקע על ידי מגוף נפרד עם שעון מים שלו. כל הטיפולים הושקו באותה שעה. אחת לשבוע נבדקו הספיקות, ובמקרים של נזקי בעלי חיים לצנרת תוקנה המערכת. הדשן שניתן הוא '12-3-6' בתוספת מיקרואלמנטים, והוא ניתן בריכוז 0.1%. הדישון הופסק בסוף שלב 1 של התפתחות הגרגר וחודש מיד לאחר הבציר.

תחנה מטאורולוגית הוקמה בטלמון בסמיכות לאתר הניסוי בשיתוף עם משרד החקלאות (איור 2). מנתוני טמפ', לחות קרינה ומהירות רוח מחושבת ההתאדות היומית על פי נוסחת פנמן מונטית' (Allen et al., 2005) הנהוגה על בסיס תחשיבי שיטת ASCE (American Society of Civil Engineers).



**איור 2:** תחנה מטאורולוגית 'טלמון' הממוקמת כ-800 מטר מחלקת הניסוי (צילום: י' נצר)



**איור 1:** מראה כללי של חלקת המחקר (החלקה המלבנית המרכזית) קברנה סובניון, דולב 2013 (צילום: י' נצר)

## יישום השקיה

ההשקיה בוצעה על בסיס תחשיבי המודל שפותח ופורט בעבר (Netzer et al., 2009; Netzer et al., 2012). העיקרון העומד מאחורי המודל הוא שצריכת המים של הצמח נגזרת מגודל הנוף (יותר עלווה – יותר שטח מאדה) ומתנאי האקלים (הנמדדים ע"י תחנות מטאורולוגיות ומחושבים כהתאדות פנמן). הפרמטר היחיד הנתון לשיקול דעתו של החקלאי הוא מקדם

ההשקיה / מקדם העקה שישפיע על עצמת עקת היובש שהוא מעוניין ליישם בכרם. מקדם העקה נגזר מיעדי הגידול: כמותי, איכותי, פרימיום, וניתן להתאימו למאפייני הזן והחלקה. להלן פירוט קצר של צורת חישוב ההשקיה:

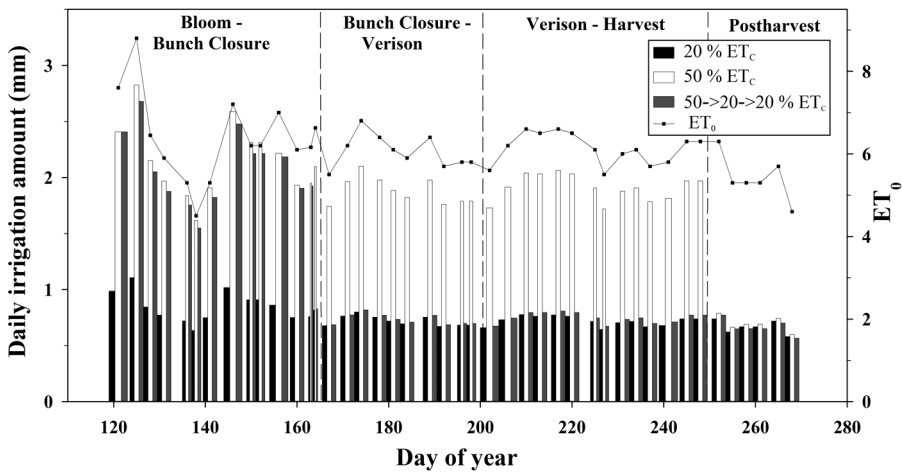
1. מקדם הגידול  $K_c$  חושב על בסיס מדידות גודל הנוף LAI ובהתאם לנוסחה:  

$$K_c = 0.2609 \times LAI + 0.3645$$

2. צריכת המים של הגפן חושבה על ידי הכפלת מקדם הגידול במוצע ההתאדות המחושבת של שלושה ימים אחרונים.

3. יישום מקדם השקיה / עקה כאחוז מצריכת המים. בשני טיפולי השקיה יושמו מקדמי ההשקיה 'קשיחים' לאורך כל העונה 50%  $ET_c$  – מקדם השקיה גבוה, 20%  $ET_c$  – מקדם השקיה נמוך (כאחוז מצריכת המים המחושבת), וטיפול RDI שבו שונה מקדם הגידול בהתאם לשלבים פנולוגיים של הגידול 20% → 20% → 50%, כלומר השקיה מרובה (50%  $ET_c$ ) מהחנטה ועד אשכול צפוף, והפחתת ההשקיה למקדם השקיה נמוך (20%  $ET_c$ ) בהמשך העונה (טבלה 1).<sup>1</sup>

מנת המים בטיפול המקדם הנמוך הייתה נמוכה מ-1 מ"ק מים לדונם ליום (מ"מ ליום), בעוד שבטיפול ההשקיה הגבוה הושפעו מנות המים באופן ניכר יותר על ידי השינויים בהתאדות פנמן (תרשים 1). בטיפול זה נעו מנות המים בין 1.5 מ"מ ליום ועד ל-2.7 מ"מ ליום בזמן גל החום בתחילת מאי (בסביבות יום 130). בטיפול המקדם הדינמי במהלך שלב 1 (מפריחה – אשכול צפוף) ניתנה השקיה מעט נמוכה מן הטיפול הגבוה מכיוון ששטח העלווה היה מעט קטן יותר בטיפול זה (נתוני עלווה אינם מוצגים במסגרת זו).



**תרשים 1:** מנת מים יומית (ציר אנכי שמאלי) והתאדות פנמן ( $ET_0$ ) דרשבועית (ציר אנכי ימני) בטיפול השקיה השונים קברנה סובניון, דולב 2013. ההשקיה בוצעה בפועל בימים קבועים פעמיים בשבוע.

1 פורמט אלקטרוני של מודל ההשקיה זמין כקובץ אקסל (ניתן לקבלו חינם אצל המחבר Ynetzer@Gmail.com), ואנו פועלים להנגישו לכורמים במסגרת תוכנה אינטרנטית זמינה שתזין אוטומטית את נתוני האקלים.

**טבלה 1: פריסת הטיפולים ומנות המים התקופתיות שיושמו בכל אחד מהשלבים הפנולוגיים בניסוי השקיה בקברנה סובניון, כרם דולב 2013**

מנת מים עונתית (mm)	מנת מים בשלב *3 (mm)	מנת מים בשלב *2 (mm)	מנת מים בשלב *1 (mm)	השקיה	מקדם השקיה (ETc %)
116	32.9	30.4	38.6	נמוכה	20%
280	87.6	79.2	98.0	גבוהה	50%
174	31.6	31.0	94.7	דינמית, גבוהה יורדת לנמוכה	50->20->20%

\* שלב 1 מוגדר מחנטה ועד אשכול צפוף,  
 \* שלב 2 מוגדר משלב זה ועד סוף החלפת הצבע מירוק לאדום (100% בוחל),  
 \* שלב 3 מוגדר מסוף הבוחל עד הבציר. לאחר הבציר כל ההשקיה התבצעה באופן אחיד על פי מקדם ההשקיה הנמוך.

**פוטנציאל מים בגזע**

החל מחודש מאי ועד לתום העונה בוצעה אחת לשבוע מדידת פוטנציאל המים בגזע באמצעות כמה תאי לחץ (ארימד כפר חרוב, ארימד 3000, אמ.אר.סי חולון). המדידה בוצעה ביום השלישי לאחר ההשקיה. נמדדו שלושה עלים לחזרה (12 לטיפול, 60 עלים לכלל החלקה). העלים הוכנסו לשקית פלסטיק שקופה ולתוך שקית כסופה אטומה כשעתיים לפני ביצוע המדידה. החל מהשעה 12:00 נותקו העלים מהצמח, ופוטנציאל המים נמדד באמצעות תא הלחץ, כאשר העלה נמצא בתוך השקית השקופה. תא הלחץ מורכב על מריצה ניידת (איור 3), כך שהזמן בין קטיף העלה ובין ההכנסה לתא לתחילת מדידה קטן מ-20 שניות. המדידה הסתיימה בסביבות השעה 14:30 (איור 4). המדידות התבצעו על שלוש גפנים מסומנות בכל חזרה. פעם בחודש הורכב על תא הלחץ ראש ייעודי, שבו מד לחץ דיגיטלי מדויק (Baroli 02, BD Sensors), והתוצאות כוילו על בסיס מקדם המתאם שהתקבל בין מדידת תא הלחץ למדידת המכיל. בדיקה זו חיונית כאשר עובדים במקביל בכמה תאי לחץ. בכל הגפנים שבהן הותקנו הדנדורומטרים נמדד פוטנציאל המים בגזע אחת לשבוע.



**איור 4:** מדידת פוטנציאל מים בגזע בצהרי היום. תא הלחץ בתמונה ארימד 3000, אמ.אר.סי חולון (צילום: ל' נצר)



**איור 3:** צוות המחקר ביום מדידות פיסילוגיות, דולב 2013, תא הלחץ המורכב על המריצה מתוצרת ארימד כפר חרוב (צילום מושהה על חצובה: איתמר נצר)



מדידת פוטנציאל המים נחשבת אמינה מאוד וכפרמטר ייחוס למדדים אחרים הקשורים לעקות מים של צמחים. בפשטות יוסבר כי ככל שהצמח נמצא בעקת יובש ניכרת יותר, כך מוחזקים המים במתח חזק יותר (מסיבה זו הערכים הם שליליים), ולכן אנו נדרשים להפעיל לחץ גדול יותר (נמדד בערכים חיוביים) על מנת להחזיר את עמודת המים עד לקו הפטוטרת (בזמן חיתוך הפטוטרת עמודת המים נסוגה לתוך הטרף והפטוטרת בגלל מתחי המים).

**מדידות שטח עלווה**

מדידות אינדקס שטח עלווה (LAI) בוצעו בכרם (12 גפנים לטיפול) אחת לשבועיים-שלושה כדי לעקוב אחר גדילת הנוף ועל מנת להכניס את הערך המדוד לתחשיבי ההשקיה. המדידות נערכו באמצעות מכשיר SunScan Canopy Analysis System המצויד ב־60 גששי קרינה (Delta-T Devices, Cambridge UK). בשנים האחרונות ביצענו כיולים של המכשיר מול מדידות הרסניות בענבי מאכל (n=18) ובענבי יין (n=27), ונמצאו מתאמים גבוהים ( $R^2 > 0.9$ ) בין המדידות ההרסניות למדידות המכשיר.

**מדידות דנדרומטרים**

הדנדרומטר הוא חיישן רגיש המודד את השינויים בקוטר הגזע, הגבעול או הפרי. במחקר הנוכחי הותקנו שש תחנות מדידה (פיטק, יד מרדכי ישראל; איורים 5, 6). לכל תחנה חוברו שני דנדרומטרים של גזע וחיישן לחות קרקע אחד (סה"כ 12 דנדרומטרים ו-6 גששי לחות לכלל הניסוי). חיישני הגזע מבוססים על חיישן מיקום לינארי בטכנולוגיית Hall Effect, רזולוציית החיישן היא 12 ביט. טווחי הפעולה מבחינת תנאי סביבה וטמפרטורה הם -40 עד 85 מעלות צלסיוס.



**איור 6:** הדנדרומטר וקופסת התקשורת המשרתת את הנתונים לאתר האינטרנט, דולב 2013 (צילום: י' נצר)

**איור 5:** דנדרומטר 'פיטק' מחובר לגזע של גפן, מימין ניתן להבחין בבוכנה עטופה במעטה פלסטיק שחור צמודה לגזע, דולב 2013 (צילום: י' נצר)

**חיישני הקרקע** – חיישני תכולת רטיבות נפחית (VWC) המבוססים על מדידת המקדם הדיאלקטרי. תרגום המקדם הדיאלקטרי לתכולת רטיבות מבוצע על פי נוסחה ומכיל בהתאם לסוג הקרקע בדיק של שלושה אחוזים. טווח המדידה האפקטיבי נע בין 0 ל-57 אחוזים. הנתונים משודרים בתקשורת סלולרית GPRS/UMTS לשרתים בענן (AWS).

הנתונים נקלטים, מעובדים ונאגרים במסד נתונים (SQL). הנתונים הגולמיים והמחושבים נשמרים במסד הנתונים תחת פרויקט (המייצג חלקה). גישה לנתונים מתבצעת באמצעות אפליקציה אינטרנטית ייעודית (תרשים 2) או באמצעות אפליקציות סלולריות. המערכת נמצאה עמידה לתנאי שטח ורטיבות ושרדה היטב גם את אירוע השלג הסוער. צריכת האנרגיה במצב המתנה נמוכה מאוד (כמה עשרות מיקרו אמפרים). השידורים מתבצעים מספר פעמים ביום, בתשדורות קצרות זמן, כך שצריכת האנרגיה הכוללת של המערכת מאפשרת שנת עבודה על סט של שש סוללות אלקליין.



**תרשים 2:** השינויים ברוחב הגזע בשני דנדורמטרים במהלך מאי יוני 2013, כפי שהתוצאות נראות באתר חברת פייטק. בהשקיה במקדם הגבוה ETC 50% (קו כחול) נראית גדילה רצופה והתכווצויות יומיות קטנות. בהשקיה הנמוכה ETC 20% (קו כתום) נראית האטה בקצב הגדילה והתכווצויות יומיות גדולות. קברנה סובניון, דולב.

### בדיקות יבול, מרכיבו ואיכות

על מנת לקבל תמונה מלאה על כלל מרכיבי היבול נשקל היבול, ונספרו האשכולות של כל גפן בנפרד (8 גפנים לחזרה, 32 גפנים לטיפול). שבוע לפני הבציר נדגמו באקראי 24 אשכולות לחזרה (8 מהצד המזרחי של השורה, 8 מהצד המערבי ו-8 ממרכז הגפן) לצורך בדיקת מדדי הבשלה. בוצעה שקילה של 100 גרגרים לחזרה על מנת לקבוע את משקלו הממוצע של הגרגר. האשכולות נסחטו ידנית וסוננו באמצעות בד סינון. בתירוש נבדקו המדדים הבאים: רמת הסוכר (Brix), pH וכמות חומצה כללית (mg/L). מכל חזרה הוכן במיקרווינפקציה יין בנפרד על פי פרוטוקול מסודר (סה"כ 20 יינות). ביין נבדקו עצמת הצבע ורמת הפוליפנולים על ידי בדיקת עצמת הבליעה בספקטרופוטומטר (באורכי גל של 620, 520, 420, 280 nm). כשנה לאחר הבציר נטעם היין בטעימה עיוורת על ידי פנל טועמים מקצועי שהוכשר לצורך כך, ביקב המחקרי של מו"פ שומרון באריאל.

### ממצאים ודיון

מסקמת מנות המים העונתיות (תרשים 1, טבלה 1) עולה, כי מנת המים הנמוכה עמדה על 116 מ"ק מים לעונת 2013, וההשקיה הגבוהה על 280 מ"ק מים לעונה. מנת המים בטיפול מקדם ההשקיה הדינמי הסתכמה ב-174 מ"ק מים בעונה. מנת המים היומית בטיפול הנמוך

לא עלתה על 1 מ"מ ליום, מנת היומית מים בטיפול הגבוה נעה בטווח 1.7-2.8 מ"מ ליום. בטיפול המקדם הדינמי נעו מנות המים במהלך שלב 1 (בין חנטה לאשכול צפוף) בטווח 1.5-2.6 מ"מ ליום, ואילו בשלבים 2 ו-3 (מאשכול צפוף - בוחל - עד בציר) מנות המים נעו בין 0.8-0.9 מ"מ ליום (איור 1). עונת 2013 התאפיינה באקלים מתון יחסית בלא אירועי קיצון בולטים כפי שהדבר בא לידי ביטוי בערכי התאדות פנמן (ערכים סביב 5-6 מ"מ ליום). אירוע חריג אחד התרחש בתחילת העונה (אזור יום 120 - סוף אפריל). הדבר בא לידי ביטוי בהתאדויות גבוהות במיוחד (תרשים 1) ובפוטנציאל מים חריג מאוד של יותר מ-1.2 מגה פסקל. ערכים כאלה מתקבלים בדרך כלל החל מאמצע העונה ואילך (תרשים 3).

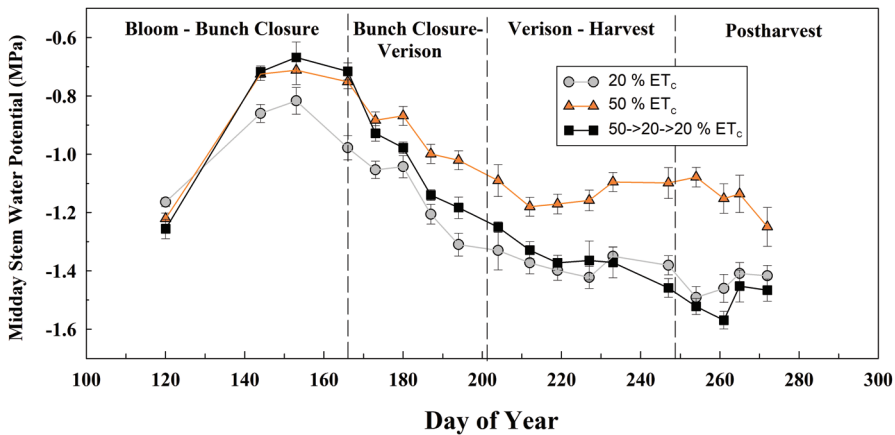
ככלל, מגמת פוטנציאל המים שהתקבלה בכלל הטיפולים (תרשים 3), מצביעה על התפתחות הדרגתית לאורך העונה של עקת יובש משמעותית החיונית לקבלת יין אדום איכותי. מגמות דומות התקבלו בניסויי השקיה גרעונית שנערכו ברחבי העולם בכרמי ענבי יין באזורים בעלי אקלים דומה (Fereres, & Soriano, 2007; Intrigliolo, & Castel, 2007; Olivo et al., 2008; Romero et al., 2010). הסברה המוצעת לירידה המתמשכת בפוטנציאל המים בגזע לאורך עונת הגידול, טוענת כי בהשקיה גרעונית תכולת הרטיבות בקרקע הולכת ופוחתת לאורך עונת הגידול - דבר המביא לירידה מתמשכת בזמינות המים לצמח (Williams, & Araujo, 2002; Olivo et al., 2008; Williams, 2012). פוטנציאל מים הוא מדד רגיש מאוד למשק המים של הצמח, והדרך המקובלת ביותר להעריך אותו היא באמצעות מדידה של פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (Naor, 2000; Choné et al., 2001; Patakas et al., 2005). בטיפול ההשקיה הגבוהה ערכי פוטנציאל המים עמדו על 0.7- מגה פסקל בתחילת העונה, ככל הנראה, עקב אירוע האקלים הקיצוני ששרר בתחילת שלב 1. החל מאמצע שלב 2 ניכר כי בטיפול ההשקיה הגבוהה התקבלו ערכים שליליים פחות (בהשוואה לשאר הטיפולים). בשלב 3 ישנה התייצבות אופיינית סביב ערכים הנעים בטווח 1-1.2 מגה פסקל. בטיפול זה התקבלו בממוצע היבולים הגבוהים ביותר בכל חמש שנות המחקר עקב מספר אשכולות גבוה יחסית וגרגר גדול (טבלה 2). בטעימות עיוורות של פנל טועמים של יינות 2009-2012 התברר כי יין מטיפול זה קיבל בעקיבות את הציון הנמוך ביותר (תוצאות מפורטות יפורסמו לאחר טעימת יינות 2013), ככל הנראה, מכיוון שהתקבל בטיפול זה גרגר גדול יחסית ומדולל (טבלה 2), וכן כי תנאי העקה בטיפול זה היו מתונים מדי באופן המתאים לגידול ענבי כמות ולא ענבי איכות אדומים. בטיפול ההשקיה הנמוכה החל מאמצע שלב 1 ניכרה מגמה של עקת יובש. בתחילת העונה הפער בין הטיפול הנמוך לגבוה היה 0.2- מגה פסקל וגדל בהדרגה לכדי 0.4- מגה פסקל לקראת הבציר. ערכי פוטנציאל מים של 1.4- עד 1.6- מגה פסקל בתקופת ההבשלה הסופית חיוניים כדי לקבל איכות פרימיום ביינות אדומים. ה'תשלום' על שיפור איכות היין והקטנת הגרגר (טבלה 2) בא לידי ביטוי בפחיתה מובהקת של 20 אחוזים בגובה היבול.

הממצא המעניין ביותר בעבודה זו הם ביצועי הגפנים בהשפעת המקדם הדינמי. מתברר כי משק המים המשופר בשלב 1 (תרשים 3) הוביל ליבולים גבוהים יחסית שאינם שונים במובהק מהיבול בהשקיה הגבוהה. בטיפול זה נצפתה תופעה פיסולוגית עקבית בכל שנות המחקר - הגפנים נכנסו לעקת מים חריפה יותר לקראת הבציר, אף בהשוואה לטיפול ההשקיה הנמוכה. תוצאה זו באה לידי ביטוי גם במדדים של חילוף גזים (פוטוסינתזה ומוליכות פיוניות) שנמדדו לאורך כמה ימי מדידות פיסולוגיות (תוצאות יומיות אינן



מוצגות). ההסבר שאנו מציעים ל'מנגנון הזיכרון' של הצמח נעוץ בהשפעה של ההשקיה המשופרת בזמן פעילות רקמת הקמביום על האנטומיה של צינורות העצה (הסבר מפורט יינתן במאמר ייעודי בנושא השפעת ההשקיה על האנטומיה של עצת הגזע). יצוין כי בנוגע לתוצאות של כל שנות המחקר דווקא ב־2013 הפער הוא הקטן ביותר (בין הטיפול הדינמי לנמוך), כנראה, עקב המתינות של תנאי האקלים בעונה זו.

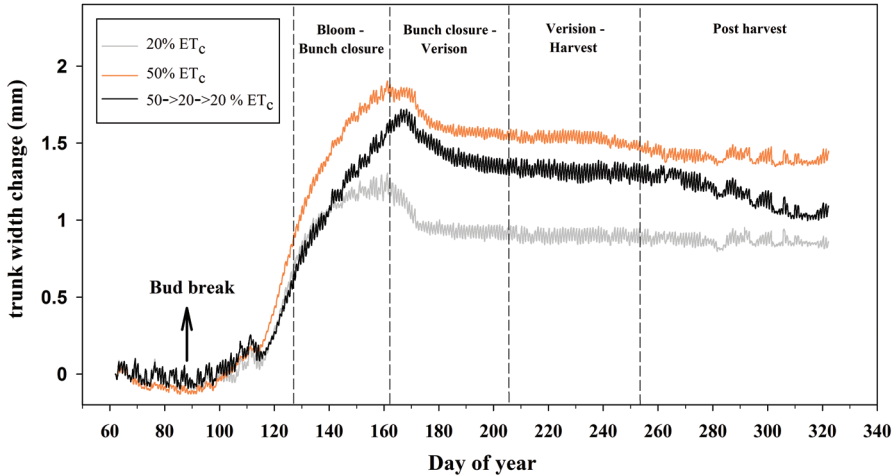
בטיפול המקדם הדינמי התקבלה קומבינציה מצטיינת של יבול גבוה יחסית (אינו שונה במובהק מההשקיה הגבוהה) עם גרגר קטן יחסית (וחיסכון של 100 מ"ק מים לדונם). בטעימת היינות קיבלו היינות מטיפול זה את הציון הטוב ביותר מכל חמשת הטיפולים ובמפתיע ציון יותר טוב מטיפול ההשקיה הנמוכה. ההסבר שלנו לתופעה היא העקה החרפה שנמדדה בטיפול זה באופן מוגבל לתקופה של לפני הבציר.



**תרשים 3:** מהלך עונתי של פוטנציאל המים בגזע באמצע היום (Mid-Day Stem Water Potential) בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ETc), הגבוהה (50% ETc) והגבוהה-נמוכה-נמוכה (50->20->20% ETc), בקברנה סובניון, כרם דולב, 2013. כל נקודה היא ממוצע של 12 עלים לטיפול.

**טבלה 2: נתוני יבול לכל שנות המחקר בניסוי השקיה בקברנה סובניון, כרם דולב, 2009-2013 האותיות השונות באנגלית (בציר האנכי) מציינות מובהקות כאשר  $P < 0.05$ .**

מקדם השקיה (ETc %)	מקדם השקיה	יבול (טון לדונם)	מס' אשכולות לגפן	משקל גרגר בודד (גר')
20%	קשיח נמוך	1.074 B	51.3 B	1.164 B
50%	קשיח גבוה	1.358 A	57.5 A	1.347 A
50->20->20%	דינמי, גבוה לנמוך	1.289 A	56.6 A	1.188 B



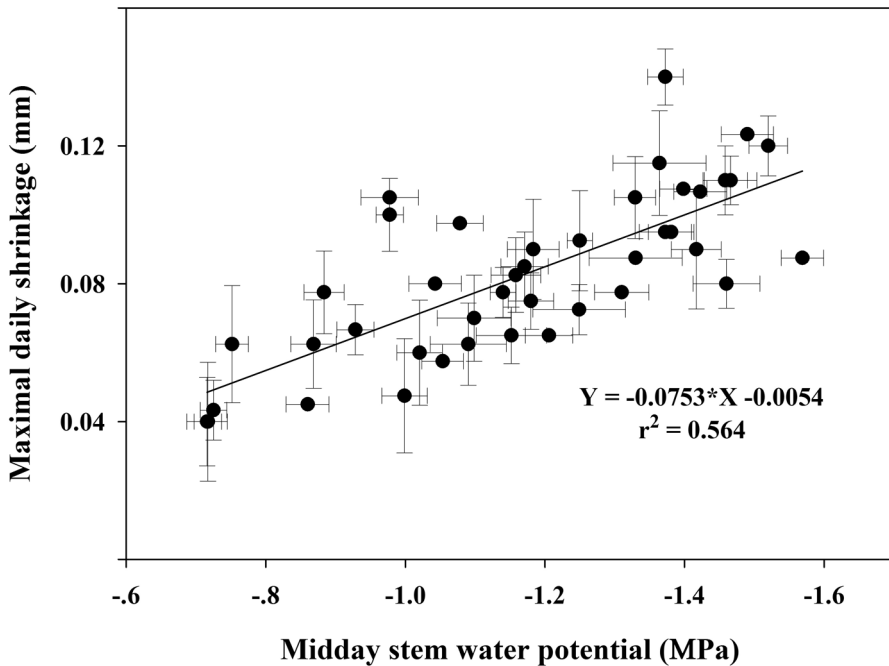
**תרשים 4:** מהלך עונתי של השינויים ברוחב הגזע כפי שנמדדו על ידי דנדרומטרים (פיטק, ישראל) בטיפולי ההשקיה הנמוכה (20% ET<sub>c</sub>), הגבוהה (50% ET<sub>c</sub>) ובמקדם ההשקיה הדינמי (50->20->20% ET<sub>c</sub>), קברנה סובניון, כרם דולב, 2013. כל עקום הוא ממוצע של 4 גפנים לטיפול.

בבחינת העקום העונתי של השינויים ברוחב הגזע ניכרות בבירור כמה מגמות (תרשים 4). בטיפול ההשקיה הגבוה השינויים ברוחב הגזע מתחילים בעצמה חזקה יותר וכך גם סך הגדילה העונתית שעמדה על 1.5 מ"מ (בהנחה שהגידול בשני צדי הגזע שווה. מדובר בהתרחבות של הגזע ב-3 מ"מ לעונה). בהשקיה הנמוכה ניכרת גדילה ממותנת יותר ובלימה מוקדמת של ההתרחבות החל מאמצע שלב 1 (בתקופה שהחנטים בגודל של ראש גפרור - אפונה קטנה). בראשית שלב 2 ניכרת ירידה ברורה ברוחב הגזע. ירידה זו מדווחת ברוב הניסויים בעולם כולל בגידול ענבי מאכל שאינם חווים עקות מים. בניסוי שבוצע בזן 'סנג'ו'בזה' בטוסקנה שבאיטליה, מוסברת הירידה בהתפתחות תנאי עקת מים בצמח הבאה לידי ביטוי בפוטנציאל המים השלילי מתחת לערך של -0.8 מגה פסקל (Papi, & Storechi, 2012). במקדם ההשקיה הדינמי ניכרת מגמת עלייה הדומה להשקיה הגבוהה (אם כי המגמה מעט שונה, ועדות לכך כי ההשקיה הגרעונית בסוף העונות הקודמות משפיעה על פרמטרים שאין לנו יודעים בוודאות להגדירם, אולי השפעה על מבנים אנטומיים של מערכת העצה).

ברמה היומית מתקבלת מגמה של התכווצות הגזע החל מהבוקר עד לשעות הערב. ועם השיפור במשק המים של הצמח המתרחש בלילה, חלה התרחבות של הגזע (תרשים 2). ניכר בבירור שסך ההתכווצות היומית (MDS - Maximal Daily Shrinkage) המחושבת כפער בין המדידה של הגזע במצבו הרחב לבין הערך של הגזע המכווץ, מושפע מאוד ממשק המים. מהתוצאות ניכר כי ככל שמשק המים של הצמח מורע, כך ערכו של מדד זה גדל. מבלי להיכנס לניתוח סטטיסטי מעמיק של המדד, ניתן לראות בבירור שבהשקיה הגבוהה סך ההתכווצות היומית קטן יחסית (תרשים 4), ובהשקיה הנמוכה הוא גדול במעט. בגפנים המושקות במקדם הדינמי ניכרות 'קפיצות' קטנות יחסית בתחילת העונה ובמהלך שלב 1. עם המעבר להשקיה נמוכה חל שינוי הדרגתי וערך ה-MDS גדל. במהלך שלב 3 ערכו גדול

במיוחד. באופן דומה (אם כי באיחור מסוים) מתקבלים בטיפול זה ערכי פוטנציאל המים השליליים ביותר (תרשים 3).

בבחינת המתאם בין פוטנציאל המים בגזע לבין סך ההתכווצות היומית (תרשים 5) התקבל מתאם סביר. אם משווים את ההתכווצות היומית שנמדדה כאשר פוטנציאל המים עמד על 9- מגה פסקל אל מול 14- מגה פסקל, נראה כי היא הכפילה את עצמה. נתון זה פותח פתח לניתוחי מגמות נוספים על סט הנתונים שהצטבר, ומעיד כי בהחלט ניתן להשתמש בכלי זה כמדד לעקת היובש של הצמח. התאמות צריכות להתבצע בנוגע לקביעת ספי פעולה לטובת יישום השקיה (מתי להשקות, באיזו כמות, באיזו תדירות) בהתאמה לזנים השונים וליעדי הגידול. בעונות המחקר הבאות בכוונתנו לנסות ולהבין מה ניתן להפיק עוד מהשימוש בדנדרומטרים על ידי שילובם בכמה ניסויי שדה בכרמי יין ומאכל.



**תרשים 5:** קורלציה בין פוטנציאל המים בגזע בצהרי היום (נמדד במצבי עקת המים הקיצוניים ביותר, יום לפני ההשקיה, כל נקודה היא ממוצע של 12 עלים) לבין ההתכווצות היומית ברוחב הגזע (כל נקודה היא ממוצע של ארבעה חישנים).

## סיכום

עם העלייה בחשיבות איכות היין להצלחה המסחרית של היקבים קיימת כיום נכונות לשלם יותר בעבור ענבי יין איכותיים. בעבודה זו נבחנו כמה מקדמי השקיה (על בסיס מודל השקיה שפותח) כדי לבחון את היחס בין ממשק ההשקיה ובין מדדים פיסולוגיים של הצמח ובין גובה היבול ואיכות היין. במסגרת זו נבחנו הדנדרומטרים ככלי לבקרת משק המים של הצמח.

מהתוצאות עולה כי הדנדרומטרים של הגזע רגישים מאוד לשינויים במשק המים של הצמח, וכי קיים מתאם טוב בינם לבין פוטנציאל המים. יתרונו הגדול של כלי המדידה הוא בפשטות ההתקנה, ברציפות ובנגישות המידע.

## תודות

המחקר מומן מתקציב המדען הראשי של משרד החקלאות. תודה רבה לשלומי כהן ש'תרם את כרמו למדע', לחברת 'נטפים' על הסיוע הלוגיסטי בצידוד ההשקיה ולמרק פרל ממשרד החקלאות על התמיכה והעזרה הרבה בהקמת התחנה המטאורולוגית 'טלמון'. תודה מיוחדת לאליאב כהן על עבודת טכנאות לאורך כל העונה ולצוות המחקר המסור: שראל מוניץ, דרור דותן יחזקאל הראש ויעקב הניג, על ההשקעה המרובה והסבלנות ב'מי פיסולוגיה' ארוכים ומתישים. תודה גם לצוות היקב המחקרי והמעבדה לחקר יין של מו"פ אזורי השומרון ובקעת הירדן: ד"ר מריה סטניסיבסקי ואהרון שגב.

## רשימת מקורות

- Boyer, J. (1995). *Measuring the Water Status of Plants and Oils*. San Diego, CA: Academic Press.
- Bravdo, B., Hepner, Y., Loinger, C., Cohen, S., & Tabacman, H. (1985). Effect of irrigation and crop level on growth, yield and wine quality of Cabernet Sauvignon. *American Journal of Enology and Viticulture* 36, 132–139.
- Castellarin, S. D., Matthews, M. A., Di Gaspero, G., & Gambetta, G. A. (2007). Water Deficits Accelerate Ripening and Induce Changes in Gene Expression Regulating Flavonoid Biosynthesis in Grape Berries. *Planta* 227, 101–112.
- Chaves, M. M., Zarrouk, O., Francisco, R., Costa, J. M., Santos, T., Regalado, A. P., Rodrigues, M. L., & Lopes, C. M. (2010). Grapevine under Deficit Irrigation: Hints from Physiological and Molecular Data. *Annals of Botany* 105, 61–76.
- Choné, X., Van Leeuwen, C., Dubourdieu, D., & Gaudillere, J. P. (2001). Stem Water Potential is a Sensitive Indicator of Grapevine Water Status. *Annals of Botany* 87, 477–483.
- Cifre, J., Bota, J., Escalona, J. M., Medrano, H., & Flexas, J. (2005). Physiological Tools for Irrigation Scheduling in Grapevine (*Vitis Vinifera* L.). *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 16, 159–170.

- Coombe, B. G., & McCarthy, M. G. (2000). Dynamics of Grape Berry Growth and Physiology of Ripening. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 6, 131–135.
- Fereres, E., & Soriano, M. A. (2007). Deficit Irrigation for Reducing Agricultural Water Use. *Journal of Experimental Botany* 58, 147–59.
- Girona, J., Marsal, J., Mata, M., Del Campo, J., & Basile, B. (2009). Phenological Sensitivity of Berry Growth and Composition of Tempranillo Grapevines (*Vitis Vinifera* L.) to Water Stress. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 15, 268–277.
- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2007). Evaluation of Grapevine Water Status from Trunk Diameter Variations. *Irrigation Science* 26, 49–59.
- Jones, H. G. (2007). Monitoring Plant and Soil Water Status: Established and Novel Methods Revisited and their Relevance to Studies of Drought Tolerance. *Journal of Experimental Botany* 58, 119–30.
- Kanety, T. (2010). Yield and Physiological and Environmental Water Stress Indicators of Persimmon Trees Irrigated with Different Amounts of Recycled Water: 1–106.
- Kennedy, J. (2002). Understanding Grape Berry Development. *Practical Winery & Vineyard*. July/August 2002.
- Matthews, M., & Anderson, M. (1988). Fruit Ripening in *Vitis Vinifera* L.: Responses to Seasonal Water Deficits. *American Journal of Enology and Viticulture* 39, 313–320.
- Myburgh, P. A. (1996). Response of *Vitis Vinifera* L. Cv. Barlinka/Ramsey to Soil Water Depletion Levels with Particular Reference to Trunk Growth Parameters. *South African Journal of Enology and Viticulture* 17, 3–14.
- Naor, A. (2000). Midday Stem Water Potential as a Plant Water Stress Indicator for Irrigation Scheduling in Fruit Trees. *Acta Hort (ISHS)* 537, 447–454.
- Netzer, Y., Yao, C., Shenker, M., Bravdo, B-A., & Schwartz, A. (2009). Water Use and the Development of Seasonal Crop Coefficients for Superior Seedless Grapevines Trained to an Open-Gable Trellis System. *Irrigation Science* 27, 109–120.
- Netzer, Y., Drori, E., & Schwartz, A. (2012). Primary Steps in the Application of a Skilled Irrigation Model for Quality Vine Grapes Grown in the Mountain Region. In M. Billig (Ed.). *Judea and Sameria Research Studie, Volume 21* (pp. 359-372). Ariel: University Center of Sameria and Sameria & Jordan Rift R&D Center.
- Olivo, N., Girona, J., & Marsal, J. (2008). Seasonal Sensitivity of Stem Water Potential to Vapour Pressure Deficit in Grapevine. *Irrigation Science* 27, 175–182.
- Papi, D., & Storchi, P. (2012). Dendrometric Measurements and Water Potential Analysis on Sangiovese Grapevine. *Acta Hort (ISHS)*, 951, 161–166.
- Patakas, A., Noitsakis, B., & Chouzouri, A. (2005). Optimization of Irrigation Water Use in Grapevines Using the Relationship Between Transpiration and Plant Water Status. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 106, 253–259.



- Roby, G., & Matthews, M. A. (2004). Relative Proportions of Seed, Skin and Flesh, in Ripe Berries from Cabernet Sauvignon Grapevines Grown in a Vineyard. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 10, 74–82.
- Romero, P., Fernandez-Fernandez, J., & Martinez-Cutillas, A. (2010). Physiological Thresholds for Efficient Regulated Deficit-Irrigation Management in Winegrapes Grown Under Semiarid Conditions. *American Journal of Enology and Viticulture* 61, 300–312.
- Scholander, P., Hammel, H., Bradstreet, E., & Hemmingsen, E. (1965). Sap Pressure in Vascular Plants. *Science* 148, 339–346.
- Turner, N. (1988). Measurement of Plant Water Status by the Pressure Chamber Technique. *Irrigation science* 9, 289–308.
- Westhoff, M., Reuss, R., Zimmermann, D., Netzer, Y., Gessner, A., Gessner, P., Zimmermann, G., Wegner, L. H., Bamberg, E., Schwartz, A., & Zimmermann, U. (2009). A Non-Invasive Probe for Online-Monitoring of Turgor Pressure Changes Under Field Conditions. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)* 11, 701–12.
- Williams, L. E. (2012). Effects of Applied Water Amounts at Various Fractions of Evapotranspiration (ETc) on Leaf Gas Exchange of Thompson Seedless Grapevines. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 18, 100–108.
- Williams, L., & Araujo, F. (2002). Correlations Among Predawn Leaf, Midday Leaf, and Midday Stem Water Potential and their Correlations with Other Measures of Soil and Plant Water Status in *Vitis Vinifera*. *Journal of the American Society* 127, 448–454.

\* ד"ר ישי נצר וד"ר אלישיב דרורי, מ"פ אזורי השומרון ובקעת הירדן  
פרופ' אמנון שוורץ ושראל מוניץ, הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית ירושלים