

דו"ח סופי לתכנית מחקר מספר 20-01-0152

פיתוח מודל לחיזוי השפעת גורמי אקלים על היסדקות פרי ההדר, ופיתוח פרוטוקול להפחתת הבעיה

שנת מחקר 3 מתוך 3

מוגש לקרן המדען הראשי של משרד החקלאות ופיתוח הכפר

ע"י

אבי צדקה המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי
עידית גינזברג המכון למדעי הצמח, מנהל המחקר החקלאי
איתמר לנסקי המחלקה לגאוגרפיה, אוניברסיטת בר-אילן
טריין פז-כגן המכון להנדסה חקלאית, מנהל המחקר החקלאי

1. תוכן עניינים

1	1. תקציר
2	2. מבוא
2	3. מטרת המחקר
3	4. פירוט עקרי הניסויים ותוצאות המחקר
3	סקר היסדקות לזיהוי גורמי אקלים וסביבה
13	פיתוח פרוטוקול השקיה
20	מורפולוגיה ואנטומיה
22	השפעת סופרלון וטיפול משקי על היסדקות
27	5. דיון
30	6. ספרות

2. תקציר הדוח

הצגת הבעיה: היסדקות או התבקעות קליפה בהדרים גורמת לנזקים כלכליים ניכרים, במיוחד בשנים מסוימות, שתדירותן הולכת ועולה בזמן האחרון. שיטות עבודה: במסגרת המחקר ניסינו להבין השפעת גורמי אקלים-סביבה-ממשק על עצמת התופעה וזאת ע"י בנית מודל מרחבי הלוקח בחשבון גורמים אילו. בנוסף, ניסינו להבין את התופעה ברמת הקליפה תוך שימוש בכלים אנטומיים, וכן לפתח פרוטוקול להפחתת עצמת התופעה ע"י משטרי השקיה שונים וטיפולים בחומרי צמיחה. תוצאות עיקריות לתקופת המחקר: 1. סקר ההיסדקות אשר היה אמור להתבצע בזן נובה בלבד הורחב לזן אורי בגלל העקירות הנרחבות של הזן נובה. הסקר בוסס על איסוף מידע מחלקות נבחרות ברחבי הארץ (חלקות סקר), וכן איסוף מידע מהמגדלים באמצעות אתר אינטרנט ייעודי שנבנה במהלך המחקר (חלקות מגדלים). תוצאות הסקר שולבו עם מדדי אקלים-סביבה-ממשק (תנאים מקומיים של החלקה, ותנאי ממשק) לקביעת מודל חוזה של תופעת ההיסדקות. מאחר והמידע התבסס על חלקות סקר וחלקות מגדלים, פותחו למעשה שני מודלים, רגרסיה ומיון (קלסיפיקציה), בהתאמה. משני המודלים עולה כי לזנים ההשפעה הגדולה ביותר על ההיסדקות, לאחר מכן נמצא כי העשירון הרביעי של הטמפרטורה (כאשר הוא גבוה מ- 23 מ"צ) מעלה היסדקות, וכן שפרי על עצים צעירים יותר להיסדק, כמו כן, נמצא כי לחות היא הממד הרביעי בעל השפעה על תופעת ההיסדקות בעיקר בחודשי יוני-יולי וכן בספט-אוק'. המודל מאפשר חיזוי של התופעה בקנה מידה ארצי, לזהות חלקות בעלות רגישות גבוהה להיסדקות ואת הגורמים המרכזיים המשפיעים על רמת ההיסדקות. 2. קביעת פרוטוקול השקיה היה מתוכנן להתבסס על הזן נובה, אולם הוא הורחב גם לזן אורי. בחלקות הניסוי הותקנו חיישני גזע ופרי, ובעזרתם גילינו כי להפחתת מנת

המים, במיוחד בתחילת העונה או בסיומה, אכן פוטנציאל להפחתת היסדקות. 3. ביצענו ניסויים להפחתת היסדקות בזן אורי המבוססים על טיפול בסופרלון. גילינו כי החומר מפחית היסדקות, אבל גם מעלה יבול ללא קשר להיסדקות, לפחות בחלקות עם פוטנציאל יבול נמוך. אולם, לנוכח מחירו הגבוה, סבירות השימוש בו נמוכה. 4. אנליזה אנטומית של אזור הפיטם בשלשה זנים (נובה - בעל פיטם ונוטה להיסדקות; אודם - בעל פיטם ואינו נסדק; ואורי - לעיתים בעל פיטם ועם נטייה בינונית להיסדקות), גילתה כי מבנה הפיטם ועומקו ביחס לשטח הפנים נמצא בהתאמה להיסדקות; בזן אודם, חלל הפיטם "שטוח" יחסית לזה של נובה ואורי, ורקמת הטבור בו קרובה יותר לפני שטח הקליפה. בדומה, יישום סופרלון (מפחית סדקים) על הזן אורי השרה רקמת טבור פחות מפותחת מזו של הביקורת ומזו שטופלה בג'יברלין (מגביר היסדקות). ניתן להציע כי רקמת טבור מפותחת והמצויה בעומק חלל הפיטם, מפעילה לחץ מלמטה כלפי מעלה, ובכך מחלישה את הקליפה, ומעלה את רגישותה להיסדקות. מסקנות והמלצות לגבי יישום התוצאות: למרות העמידה בכל יעדי המחקר, והצלחה יחסית שלו, קשה להצביע על מסקנה יישומית בשלב זה. אזורים בהם הטמפרטורה הממוצעת עולה על 23 מ"צ והלחות היחסית עוברת שינויים רבים בחודשים יוני-יולי וספטמבר-אוקטובר, מועדים יותר להיסדקות. ממחקר קודם, הטכנולוגיה של רשתות עיליות שקופות, צבעוניות או לא צבעוניות, יכול להיות פתרון בגלל האפקט ממתן האקלים שלה. כאמור, הפחתת השקיה במועדים ספציפיים, בתחילת העונה או בסיומה, יכולה להפחית היסדקות, אולם זו לא יכולה להיות עדיין המלצה יישומית, שכן פרוטוקול מסודר דורש מחקר נוסף.

3. מבוא

היסדקות או התבקעות פרי הנה כשל פיסיקאלי של הקליפה המופיע בפירות רבים, כולל פירות מטע ופירות ירק. היסדקות פרי ההדר מתבטאת בהופעת חריץ, לרוב מצד הפיטם של הפרי בשכבת הפלבדו החיצונית, אשר מתקדם לכיוון האלבדו (שכבת קליפה פנימית, לבנה) ולכיוון מרכז הפרי. התופעה מתחילה כארבעה חודשים מהחנטה, אולם היא מתרחבת בהיקפה מבחינת פירות נגועים ומגיעה לשיאה במהלך ספטמבר-נובמבר, כאשר פרי סדוק נושר. ישנם זני הדרים הרגישים יותר לתופעה מאחרים (דוגמת נובה וולנסיה), ובהם תופיע היסדקות באחוזים נמוכים יחסית שנה אחר שנה. אולם, ישנן שנים (שנות היסדקות) בהם היקף התופעה מתרחב, ואז גם זנים שבד"כ אינם נפגעים, כמו הזן אורי, יראו את התופעה בהיקפים נרחבים. אובדני יבול עשויים להגיע ל-50% מהפרי, ואף למעלה מכך. בשנים האחרונות נראה כי היקף התופעה מתרחב. סביר להניח כי יש לכך קשר עם התחממות גלובלית, גלי חום בזמנים רגישים, ובכלל, אירועי קיצון אקלימיים. עונת 2014-2015 הייתה שנת היסדקות, ואז היו דיווחים על היסדקות נרחבת גם במינים אחרים, כמו רימון וענבים. עונת 2016-2017 מדווחת גם היא כשנת היסדקות, ובעצמה כזו, שאפילו לימונים מראים את התופעה. עפ"י דיווחים, גם רימונים הראו השנה עליה בעצמת היסדקות.

4. מטרת המחקר

מטרת המחקר הנה פיתוח פרוטוקול משולב לחיזוי וטיפול מוקדם בבעיית היסדקות בפרי ההדר.

במסגרת זאת, מטרת המשנה הן:

1. איפיון הגורמים האקלימיים והמיקרו-אקלימיים המעלים עצמת היסדקות, ופיתוח מודל אקלימי שיוכל לחזות את עצמת התופעה.
2. בחינת משטרי השקיה שונים בנקודות פנולוגיות שונות, לפיתוח פרוטוקול, אשר בשילוב עם הטיפול המשקי, יוריד את אחוז היסדקות.
3. ביצוע אנליזה מיקרוסקופית של מבנה הקליפה במהלך התפתחות הפרי, לאפיון מבנה וצפיפות תאי האפידרמיס ועובי הקוטיקולה, בזנים עמידים ורגישים להיסדקות.

מטרות המחקר והמשימות לכל שנות המחקר, וכן פירוט של הרחבת התכנית

מספר משימה	המשימה בהצעה	הרחבת ההצעה, וסטטוס ניסויים
1	מטרה 1, זיהוי גורמי אקלים- מיפוי חלקות והצבת רגשים	בהצעה, הוצע לבצע סקר רק בחלקות נובה. בפועל החלטנו להרחיב את הסקר גם לחלקות אורי, סה"כ למעלה מ-50 חלקות של שני הזנים. חלקות אלו מכונות להלן "חלקות סקר". בכל אחת מהן נאספים נתוני היסדות ויבול (מספר פירות) מארבעה עצים, כאשר בחירת העצים נעשתה באופן מושכל בהסתמך על שונות מרחבית בחלקה. בנוסף, פרט לחלקות סקר, נאסף מידע מחלקות אורי ונובה נוספות, להלן "חלקות חקלאים", בהם המגדלים נותנים הערכת היסדות. לצורך איסוף המידע, נבנה טופס אינטרנטי שהמגדלים ניגשים אליו באופן עצמאי וממלאים נתונים שונים. בגלל העקרות הנרחבת של הזן נובה, המוקד של הסקר עובר לזן אורי. פותחו שני מודלים לומדים (מבוסס מיון או קורלציה), לזיהוי הגורמים המשפיעים על תופעת היסדות בקנה מידה ארצי. המודל התבסס על סדרות זמן אקלימיות מבוססות לוויינים, נתוני טופוגרפיה, וממשק לזיהוי הגורמים המווסתים את רמת היסדות הפרי בשני זנים אור ונובה. המודל מאפשר לזהות את הגורמים המרכזיים המשפיעים על תופעת היסדות ברמת החלקה והבנה מרחבית של התופעה בקנה מידה רחב.
2	מטרה 1, זיהוי גורמי אקלים- איסוף נתוני מיקרו-אקלים וקרע. וכן נתוני אקלים מלוויין	חלק זה של המחקר מתבצע בהתאם למתוכנן
3	מטרה 2, פיתוח פרוטוקול השקיה- העמדת תצפית בה ייתנו כמויות מים שונות בשלבים פנולוגיים שונים ותבחן השפעתם על אחוז היסדות	ניסוי השקיה הוצע רק בחלקת נובה. בפועל הוקם ניסוי נוסף גם בחלקת אורי הכולל ארבעה טיפולים. שתי החלקות, בקיבוץ נען, נעקרו במהלך השנה השנייה. לפיכך, הוקם ניסוי חלופי בצריפין בזן אורי. כאמור, הזן נובה נעקר ברחבי הארץ, ולא ראינו טעם בהקמת ניסוי נוסף בו.
4	מטרה 3, היסטולוגיה ואנטומיה- איסוף דגימות פרי משני שלבים התפתחותיים	בפועל אספנו דגימות פרי משלשה שלבים התפתחותיים, וכן משלשה זנים, נובה (בעל פיסט ונסדק), אורי (ללא פיסט ונסדק) ואודם (בעל פיסט ולא נסדק). כמו כן, דגמנו פירות אורי מטופלים כמפורט בסעיף מס' 5, שלא כחלק מהתכנית המקורית.
5	מטרה 4: מטרה שלא הופיעה בהצעת המחקר- השפעת סופרלון על היסדות אורי	למרות שהדבר לא הוגדר בתכנית, בחנו במשך שלש שנות הניסוי השפעת סופרלון על היסדות

5. פירוט עקרי הניסויים ותוצאות המחקר

מטרה 1: זיהוי גורמי אקלים

מטרת המחקר הראשונה הייתה לאפיין את הגורמים האקלימיים המעלים עצמת היסדות בהדרים, ולפתח מודל המשלב מדדי אקלים, סביבה וממשק שיוכל לחזות את עצמת התופעה. לשם כך פיתחנו גישה מחקרית הכוללת ארבע שלבי מחקר: **שלב 1** כלל איסוף מידע ממקורות שונים לפיתוח המודל. איסוף הנתונים על רמת היסדות הינו ברמות פירוט שונות: (1) מסד נתונים של **חלקות סקר** כלל מידע מפורט מ-52 חלקות משני זנים מרכזיים (21 נובה, 31 אורי) בהם נספרו מספר הפירות הנסדקים שנאספו מארבע עצי מדגם 3-4 פעמים בשנה במשך שלש עונות הדיגום. חלקות הסקר כללו מידע נוסף שנאסף על ניהול החלקות, והערכת היבול. הערכת היבול כללה ספירה של מספר פירות לחלקה בארבעת עצי המדידה שנבחרו ומתוכם נעשתה הערכה של מספר הפירות הנסדקים הממוצע לחלקה. (2) מסד הנתונים השני כולל איסוף מידע **מחלקות המגדלים** ב-177 חלקות (127 אורי, 50 נובה) הפזורות ברחבי ישראל וכוללות מידע על יבול, הערכת היסדות של המגדלים, וכן נתוני רקע על ממשק ומדדי קרקע. במהלך המחקר חלק מהחלקות נעקרו ויעודן שונה ולכן היו שינויים במסדי הנתונים בין השנה הראשונה, השנייה והשלישית. טבלה מספר 1 מציגה את הנתונים שנאספו במהלך שתי העונות הראשונות להערכת היסדות פרי שכללו סה"כ 445 חלקות, 103 חלקות סקר, 342 חלקות מגדלים. נתוני השנה השלישית ישמשו אותנו בהמשך לולידציה של המודל, נתונים אילו לא נכנסו לדו"ח מאחר ואיסוף הנתונים הסתיים רק לאחרונה. כל המידע שנאסף על חלקות הסקר, נאסף גם מהמגדלים למעט אחוז היסדות, לגביו הם התבקשו לתת הערכה בלבד (ללא ספירה של הפרי על העצים, אלא התייחסות לכמות יבול לדונם). לצורך איסוף המידע, נבנה אתר אינטרנט ובו שני טפסים. בטופס האחד, נתונים קבועים של החלקות, כנה, שנת נטיעה או החלפת זן, טיב המים, מספר השקיות לשבוע, מרקם הקרקע וצפיפות העצים. בטופס השני נאספו נתונים שנתיים הכוללים טיפולים משקיים העשויים להשפיע על עצמת היסדות, כמות יבול, אבדן יבול, וכן הערכת היסדות עפ"י טבלה המופיעה בראש הטופס (טבלה 2). לאחר פיתוח המודל בכל החלקות, הן חלקות הסקר והן חלקות

מנתוני המגדלים, התקבל מידע על רמת ההיסדקות בחלקה. המידע שהגיע מחלקות המגדלים כלל הערכה של מספר פירות סדוקים לעץ ועל בסיסם נעשתה חלוקה קטגוריאלית של רמת היסדקות, נמוכה, גבוהה ובינונית (טבלה 2).

טבלה 1: הנתונים שנאספו במהלך שנות המחקר שכללו חלקות סקר וחלקות חקלאים, ופרוט של מספר החלקות הכולל שהוזנו למודל זיהוי היסדקות פרי בהדרים

Season	Source	Cultivar	Quantity	Comment
2013-2014	Survey plots	Nova	1	Previous research
2014-2015		Nova	1	
2018-2019	Survey plots	Nova	21	1 st season of project research
		Ori	30	
	Farmers plots	Nova	49	
		Ori	120	
2019-2020	Survey plots	Nova	19	2 nd season of project research
		Ori	31	
	Farmers plots	Nova	38	
		Ori	135	
Total			445	

טבלה 2: הערכת רמת היסדקות פרי בחלקות מגדלים רמות ההיסדקות נקבעו לפי רמה נמוכה, גבוהה ובינונית.

Split level	Or (fruit qt)	Nova (fruit qt)
Small	Less than 10	Less than 20
Medium	10-30	20-50
Large	Over 30	Over 50

בשלב 2, על בסיס מסדי נתונים אלו, פותח מודל להערכת רמת ההיסדקות בכל חלקה לפי עונות 2018-2019, 2019-2020. בנוסף, נבחנה התאמה לגבי חלקת ניסוי אחת, עליה היו נתונים מעונות 2013-2014, ו- 2014-2015. היה הבדל קל במספר חלקות הסקר בין שתי שנות המחקר, אשר נבע מחלקות שנעקרו ובמקומן התווספו חלקות חדשות. לכן בשלב עריכת הדוח היו בידינו נתונים מ-445 חלקות שונות. הערכת רמת ההיסדקות כללה פיתוח של שני מודלים האחד מודל מיון להערכה ברמה קטגוריאלית (גבוהה נמוכה ובינונית). לשם כך היה צורך להמיר את חלקות הסקר לקטגוריות. אחוזי היסדקות של חלקות הסקר חולקו לקטגוריות, על בסיס הערכת מומחים בטווחים של מתחת ל-7% רמה נמוכה, בין 7-15% רמה בינונית ומעל 15% רמה גבוהה בשני הזנים. חלקות המגדלים, עברו את אותה המרה בדיוק. המודל השני שפותח התבסס על מודל רגרסיה וכלל נתונים רציפים, מה שהצריך המרה של נתוני חלקות המגדלים מנתונים קטגוריאליים לערכים רציפים, תהליך שהיה יותר מורכב ודרש מספר הנחות בסיס. לשם כך נעשה שימוש בפונקציית המרה שלקחה בחשבון את משקל הפרי הממוצע לעץ. תופעה חקלאית ידועה היא שככל שמספר פירות העץ גבוה יותר, כך משקל הפרי הממוצע נמוך יותר. לכן, על סמך מסד נתונים היסטורי שיש בידינו עם מספר פירות ומשקל פירות לעץ, ביצענו חלוקה לשמונה קטגוריות (לפי טווחי משקל לעץ) שסייעו במציאת משקל פרי ממוצע לכל עץ. מספר הפירות הסדוקים לחלקה חושב על בסיס המודל:

per tree average fruit count

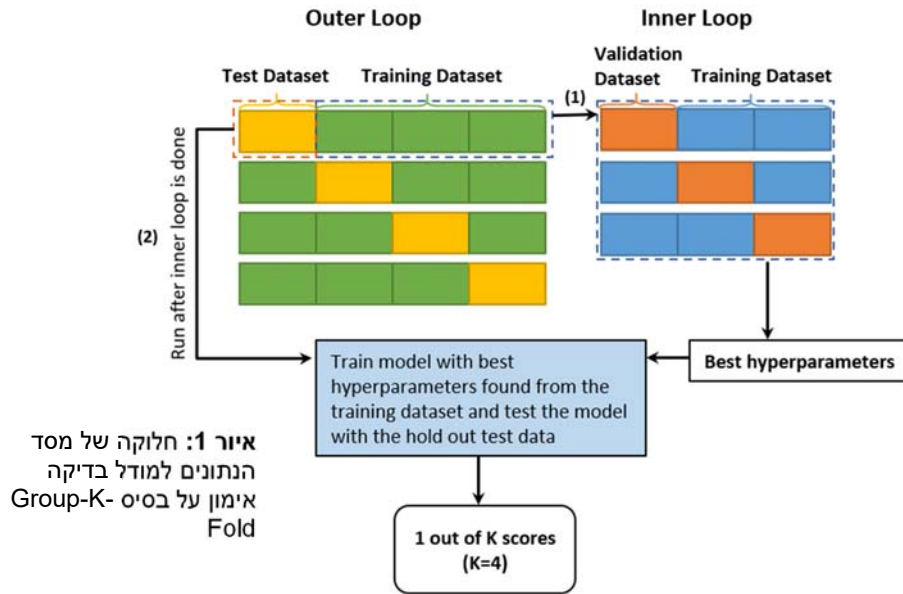
$$= \text{bin tree count} \left(\text{closest bin to median tree weight} \left(\frac{\text{crop to dunam} [\text{Ton}] * 1000}{50} \right) \right)$$

כאשר המשקל הכולל של היבול לחלקה ידוע מנתוני המגדלים, ובהסתמך על כך שבממוצע יש כ-50 עצים לדונם. לאחר שחילצנו את המדד של הערכת כמות הפירות שנמדדו בכל עץ (לפי הטווחים שהוגדרו למגדלים) וכמות היבול על בסיס 50 עצים לדונם, חילצנו את כמות הפרי בכל עץ, וכך הגענו לאחוז ההיסדקות, אותו העברנו בהמרה של מומחה לקטגוריות ההיסדקות.

שלב 2 כלל גם איסוף של מידע המסביר את תופעת ההיסדקות. המידע המסביר חולק למדדי סביבה, כולל מדדי אקלים (סדרות זמן של נתוני טמפרטורה, קרינה, ולחות), מדדים טופוגרפיים ומאפייני קרקע, וכן מדדי ממשק (טיפול השקיה, גיל העצים, ריסוסים), ומאפיינים גנטיים (זן – אורי או נובה). איסוף **מידע אקלימי** נעשה מלוויין MODIS המאפשר כיסוי עתי 4 פעמים ביום ומרחבי ברזולוציה של 1 קמ"ר. הנתונים שהתקבלו כוללים מידע ברזולוציה יומית עבור כל השנה, אך בכדי לנתח נתונים רלוונטיים לתופעת ההיסדקות, נלקחו בעת השימוש במודלים הנתונים מתחילת מאי בתחילת העונה ועד אוקטובר, שהיא התקופה שלהערכתנו רלוונטית להיסדקות. הדמאות הלוויין מחולקות לתאים של 1 קמ"ר (פיקסלים) עבור טמפרטורה, ואילו נתוני המודל (NCEP CFSv2) לתאים של 20 קמ"ר עבור ולחות וקרינה. השונות המרחבית והעיתית (במהלך השנה) של מידע אקלימי זה יכול ללמד על תופעת ההיסדקות. מנתוני הלוויין הוסרו נתונים רועשים הנובעים מכסוי עננות או מידע רועש אחר. לאחר מכן פותחו מספר אלגוריתמים להערכת מדדים אקלימיים שכוללים: טמפרטורה יומית מקסימלית ומינימלית, ולחות יומית מקסימלית ומינימלית וקרינה ממוצעת ב-4 נקודות זמן (6:00, 12:00, 18:00, 00:00, כאשר נלקחים ערכים ממוצעים של 3 שעות לפני ואחרי נקודת הזמן (בחצות הקרינה תמיד 0, שכן אלו תמיד שעות חושך). הסבר לתהליך עיבוד נתוני הלוויין מופיע במאמר (שפרסם ע"י איתמר לנסקי) לאחרונה (Shiff et al., 2021). טמפרטורת חופת העץ (Blum et al., 2013) חושבה בעזרת נתוני לוויין (טמפרטורת פני הקרקע ומדד צומח). לאימות ובחינת הדיוק, הוצבו חיישני טמפרטורה ולחות בחופת עצים בחלקות שונות ברחבי הארץ. כמו כן נעשתה השוואה של הנתונים אל מול רשת התחנות המטאורולוגיות הפרוסות בישראל. מתוך נתונים אלו פותחה לכל חלקה סדרת זמן המבוססת על מספר נתונים אקלימיים. במקרים בהם חלקה מתפרסת על כמה פיקסלים, בוצע חישוב ממוצע של הערך האקלימי. כמו כן, פותחו מספר מדדים חוזים עבור הנתונים האקלימיים. לשם כך נעשה שימוש בחבילה מסוג TSFRESH אשר מפעילה המרות שונות על נתוני סדרות הזמן, ומאפשרת להפיק כ-800 מדדים חוזים עבור כל סדרת זמן (טמפרטורה, ולחות וקרינה). המרות אלו מייצרות ערכי מקדמים שונים מה שמגדיל כמות המדדים. לדוגמא, בחישוב מקדמי סדרות פורייה, או מקדמי אוטו-רגרסיה פותחו סה"כ כ-2414 מקדמים לסדרת הזמן עבור טמפרטורה, ולחות וקרינה. בתהליך חילוץ המדדים החוזים נוסף מדד רלוונטי של יחידות טמפרטורה לגדילה (GDD – Growing Degree Days), מדד GDD סוכם את סך ממוצע הטמפרטורה היומי בטווחים של מינימום 12.8 מעלות ומקסימום 36 מעלות על משך זמן הגדילה בעונה. בנוסף למדדי האקלים, המדדים המסבירים הנוספים כללו מדדים ממשקיים וגנטיים. **המדד הגנטי** כלל התייחסות לזן (אורי-1 או נובה-0). **מדדי הממשק** כללו את סוג הכנה של החלקה, גיל העצים, איכות המים בהשקיה, דישון וריסוסים שנעשו בחלקה. כמו כן נלקחו בחשבון **מדדים סביבתיים** נוספים הכוללים מאפיינים טופוגרפיים (גובה, שיפוע מפנה, סוג קרקע).

בשלב 3 נבנה מסד הנתונים, כאשר לכל חלקה מתוך 445 החלקות נקבעה רמת ההיסדקות מחד (קטגוריאלית ורציפה), והמדדים האקלימיים, הטופוגרפיים, והממשקיים המסבירים את תופעת ההיסדקות, בקנה מידה רחב (ארצי). **בשלב 4** פותחו מספר אלגוריתמים לומדים הכוללים: 'Distributed Random Forest' ('DRF') for both 'Random Forest' and 'Extremely Randomized Trees (XRT)', 'Generalized Linear Model' ('GLM') 'Gradient Boosting Machine' ('GBM') 'Fully-connected multi-layer artificial neural network' ('Deep Learning'), 'XGBoost', 'Stacked Ensembles'. המודלים שילבו את כלל מסדי הנתונים להערכת רמת ההיסדקות ובחינת הגורמים המווסתים את תהליך ההיסדקות אל מול המדדים המסבירים, כאשר, כאמור, נבחנו שני מודלים מודל רגרסיה ומודל קלסיפיקציה

(לנתונים רציפים וקטגוריאליים, בהתאמה). המודל אומן על ידי חלוקה של מסד הנתונים למסד אימון ובדיקה כפי שמופיע באיור 1. מטרת תהליך האימון והבחינה על בסיס לולאה מקוננת היא למנוע הערכת יתר (over fitting) של המודל, לכן אימון המודל נעשה על ידי 'Group-K-Fold'. **בשלב ה-5** והאחרון, בוצע אימות המודל ופיתוח מודל רגישות להערכת חוזק המודל והסבר של דפוסי התנהגות של המדדים המסבירים השונים. בסעיפים הבאים נציג בפרוט את תוצאות המחקר משלבי המחקר השונים.



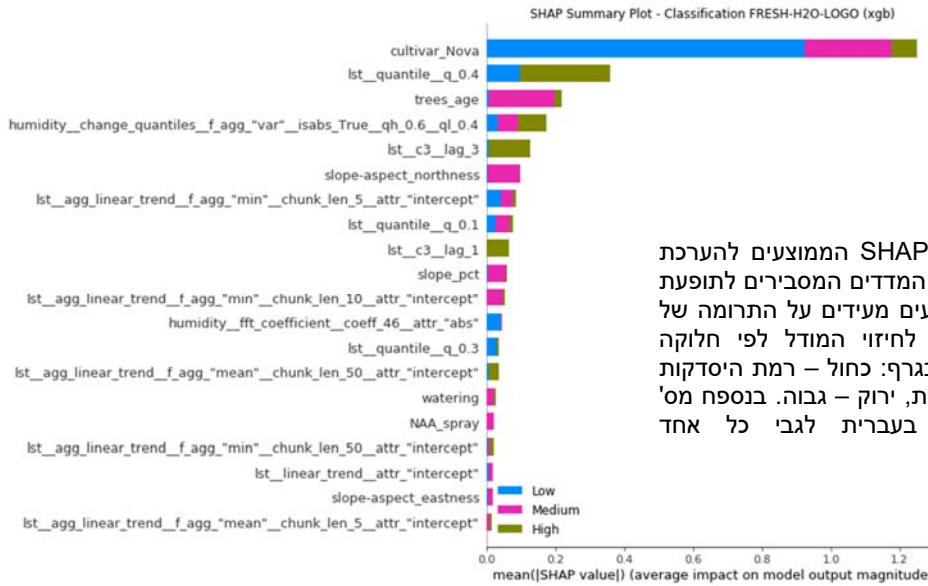
תוצאות מודל מיון (קלסיפיקציה)

בדקנו כמה מודלים מבוססי Machine Learning, וביניהם גם שיטות הבונות קומבינציה של מודלים. עבור בעיית המיון בו נעשה שימוש במדדים קטגוריאלי (רמת היסדקות גבוה, בינונית ונמוכה). נמצא כי על בסיס פלטפורמת H2O, מודל XGBoost הגיע לתוצאות הטובות ביותר. בטבלה 3 מוצגים תוצאות המודלים השונים, כאשר המודל הטוב ביותר, עם תוצאות החיזוי ברמת דיוק של 0.76, מודגש, והוא שימש להפקת הדפוסים של הגורמים המשפיעים.

טבלה 3: מספר מודלים מבוססי לימוד מכונה והערכה של הצלחת המודל לחזות את רמת ההיסדקות על בסיס מודל קטגוריאלי (היסדקות נמוכה, בינונית, וגבוהה). הפרמטרים כוללים את רמת דיוק המודל וסטיית התקן, רמת הדיוק של זיהוי הקבוצה עם ערכי ההיסדקות הגבוהים.

Model name	Accuracy (std of 4 folds)	Train Accuracy (std of 4 folds)	Precision 'High' label	1st average	rank gain ('Nova' Cultivar)
FRESH-xgb	0.72 (0.08)	0.89 (0.06)	0.42	0.16	
xgb	0.73 (0.07)	0.86 (0.02)	0.29	0.04	
Full-FRESH-0.05-xgb	0.76 (0.03)	0.76 (0.01)	0	1	
FRESH-xgb-LOGO	0.74 (0.06)	0.85 (0.02)	0.54	0.20	
FRESH-cat	0.73 (0.06)	0.95 (0.08)	0.44	0.32	
FRESH-H2O-LOGO (xgb)	0.76 (0.04)	0.80 (0.01)	0.65	0.63	
FRESH-H2O-LOGO-smote (xgb)	0.76 (0.04)	0.80 (0.01)	0.65	0.63	

באיור 2 ניתן לראות את הגורמים המשפיעים ביותר על תופעת ההיסדקות, וכמו כן איזו רמת היסדקות השפיעה על גורם זה, לפי חלוקה לצבעים: כחול – נמוך, ורוד – בינוני, ירוק – גבוה. ציר ה-X בגרף זה הוא הערך הממוצע של ערך

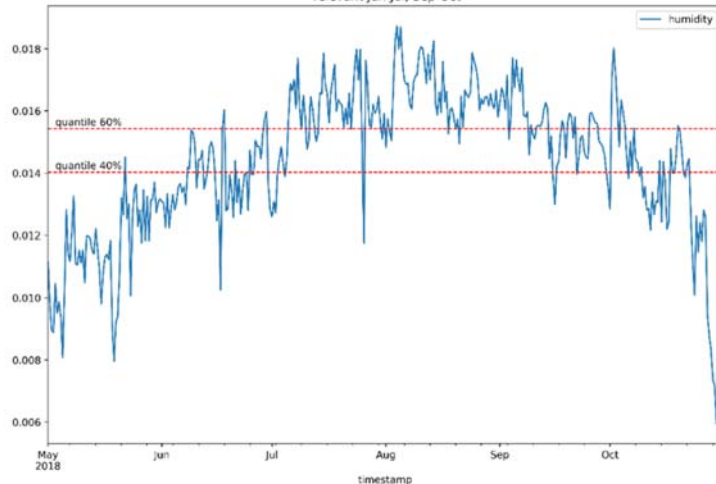


איור 2: ערכי ה-SHAP הממוצעים להערכת מידת החשיבות של המדדים המסבירים לתופעת היסדקות פרי. הצבעים מעידים על התרומה של כל אחת מקבוצות לחיזוי המודל לפי חלוקה לצבעים המופיעים בגרף: כחול – רמת היסדקות נמוכה, ורוד – בינונית, ירוק – גבוה. בנספח מס' 1 מופיע הסבר בעברית לגבי כל אחד מהפרמטרים.

Shapley Additive Explanation (SHAP), שמשמעותו, התרומה היחסית של כל מדד לחזק המודל, כאשר ערכי המטרה שלנו נובעים מחיזוי רמות ההיסדקות כ-0 – נמוך, 1 – בינוני, 2 – גבוה. לכן כאשר אנו צופים בערכי הגורם הראשון המשפיע ביותר בגרף, הזן נובה, אנו רואים כי גורם זה מגיע עד כ-1.2 ערכי השפעה, ומכך אנו מסיקים כי גורם הזן הינו חזק ביותר ומשמעותי ביותר לחיזוי רמת היסדקות.

כפי שמוזכר לעיל, מעבר לגודל ההשפעה שיש לכל גורם, ניתן גם לראות כמה משפיע גורם זה על כל אחת מרמות ההיסדקות, לדוגמא: בגורם הזן ניתן לראות כי חלוקת ההשפעה על רמת ההיסדקות מתפלגת כמו רמתה באוכלוסייה ממנה דגמנו (כמות גדולה של היסדקות נמוכה, בינונית של היסדקות בינונית, וכמות קטנה של היסדקות גבוהה). הגורם השני המשפיע בגרף הינו העשירון הרביעי (40%) של הטמפרטורה, ומשפיע בעיקר על היסדקות גבוהה ואח"כ נמוכה. הגורם השלישי המשפיע הינו גיל העצים, ונראה כי הוא משפיע בעיקר על רמת היסדקות בינונית. הגורם הרביעי המשפיע הינו רמת לחות לאחר שביצענו את המניפולציה הבאה בכדי להגיע לתוצאה זו: קיבענו בסדרת נתוני הלחות מסדרון בין העשירון הרביעי (40%) לשישי (60%), ואז עבור הפרשים מוחלטים של ערכים עוקבים בלבד בתוך אזור זה חישבנו את פונקציית הצבירה (כאן חישבנו פונקציית צבירה מסוג שונות). התוצאה הנה כי גורם זה משפיע בעיקר

Feature Humidity season 2018-2019, plot=21355, High variance between quantile 40-60% relevant Jun-Jul, Sep-Oct

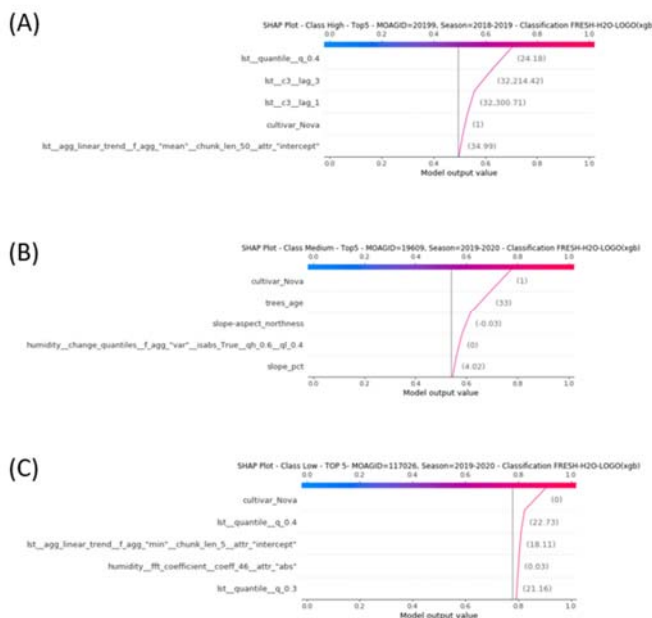


איור 3: גרף ערכי לחות של חלקה 21355 בעונה 2018-2019, העשירונים 40%-ו-60% מראים כי הערכים הרלוונטיים נופלים בחודשים יוני-יולי או ספט-אוק'. דוגמא זו מציגה שונות גבוהה של לחות בתקופות הללו.

על רמת היסדקות גבוהה. בכדי להסביר לעומק גורם זה, ערכי הלחות של אחת החלקות מוצגות באיור 3, בו הוספנו בקווקו אדום את האזור של העשירון הרביעי והשישי. בגרף זה ניתן לראות כי ערכי האזור הרלוונטיים הינם בתקופות יוני-יולי וכן בספט-אוק', ובדוגמא זו ניתן לראות שונות גבוהה בהפרשים של ערכים עוקבים.

ע"י שימוש בערכי SHAP ניתן לקבל גורמים משפיעים ברמת כלל אוכלוסיית החלקות, אך גם להפיק את הגורמים המשפיעים ביותר הרלוונטיים ברמת כל חלקה. לדוגמה, איור 4 מציג את תוצאות בשלוש חלקות בהן מופיעים חמשת גורמי היסדקות המשפיעים ביותר עבור כל חלקה. הגרף העליון מציג חלקה עם היסדקות גבוהה, הגרף האמצעי מציג חלקה עם היסדקות בינונית, והתחתון מציג חלקה עם היסדקות נמוכה. ציר ה-X בראש כל גרף מנומל לרמת חוזק החיזוי בין 0 ל-1. לפיכך, השאיפה היא תמיד לרמת החיזוי הגבוהה ביותר. החיזוי של רמת היסדקות גבוהה הנמוך ביותר כ-0.7, והחיזוי של רמת היסדקות הנמוכה הוא הגבוה ביותר כ-0.9. רמות החיזוי תואמות את כמות הדגימות הקיימות באוכלוסייה מכל רמת היסדקות, יותר מידע משמעו דיוק גבוה יותר וביטחון גבוה יותר בחיזוי.

הגרפים המוצגים באיור 4 קרויים גרפי החלטה, והסיבה לכך הנה שכל גורם משפיע מוצג עם ערכו, גודלו וכיוון ההשפעה שלו. בכל הגרפים באיור כיוון ההשפעה הינו חיזוק החיזוי שכן כולם נוטים ימינה. במקרים בהם נראה גורם הנוטה שמאלה, המשמעות הינה כי גורם זה משפיע על שינוי רמת היסדקות לכיוון מטה (מגבוהה לבינונית, ומבינונית לנמוכה).

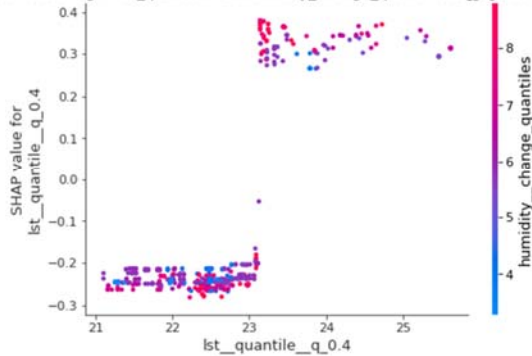


איור 4: גרף החלטה על בסיס SHAP לשלוש חלקות מחקר ברמת היסדקות גבוהה (A), בינונית (B) ונמוכה (C) להמחשה, נבחרו חמשת הגורמים המשפיעים ביותר בכל חלקה בכדי לייצג את הגורמים המרכזיים המשפיעים על תופעת ההיסדקות. מספרי החלקות מופיעות בכותרת האיור (A) 20199, (B) 19609, (C) 117026.

בגרף העליון (איור A4) ניתן לראות כי הגורם המשפיע ביותר על רמת היסדקות הגבוהה הינו העשירון הרביעי של הטמפרטורה שערכו 24.18°C , וגורם זה חיזק את החיזוי בכ-0.1 (אורך הנטייה ימינה) לכיוון 0.7. בכדי להבין כיצד גורם משפיע על תופעת היסדקות, משתמשים בגרף התלות, שבו ניתן לראות כיצד מתנהגת עוצמת ההשפעה של הגורם מסוים על תופעת היסדקות. בנוסף, ניתן להוסיף גורם אחד נוסף שמציג באמצעות עוצמת צבע את האינטראקציה בין הגורמים. בדוגמא הבאה, המוצגת באיור 5, מוצג הגורם של העשירון הרביעי של הטמפרטורה. ערך סף הנו של 23°C , כאשר כל חלקה עם ערכי עשירון רביעי גבוהים מסף זה, תגדל בה רמת היסדקות בערך SHAP של כ-0.4 מתוך הטווח של 0-2 (כ-20% השפעה). בנוסף אנו רואים כי חלקות עם ערכים מתחת ל- 23°C יושפעו לטובה ובהן תרד רמת היסדקות בעד ערך של 0.3 (הורדה של עד -15%). בגרף מופיעה האינטראקציה עם גורם הלחות, וניתן לזהות בו תבנית רק מעל הסף הנצפה. כלומר, שונות בלחות יחד עם טמפרטורה הגבוהה מ-23 מעלות תביא

להיסדקות גבוהה יותר. לרמה גבוהה יותר בערכי פער בין 0.4 ל-0.3 לפי ערכי שונות של הלחות (צבע אדום מצביע על שונות גבוהה בערכי הלחות, וצבע כחול מצביע על שונות נמוכה בלחות).

SHAP Dependence Plot - Class High - lst_quant0.4 vs. humidity_change_quant - Classification FRESH-H2O-LOGO(xgb)



איור 5: גרף תלות של גורם העשירון הרביעי של הטמפרטורה, על בסיס היסדקות גבוהה, בשילוב האינטראקציה עם גורם הלחות במסדרון של 40-60% וצבירת ערך השונות בטווח זה.

תוצאות מודל רגרסיה

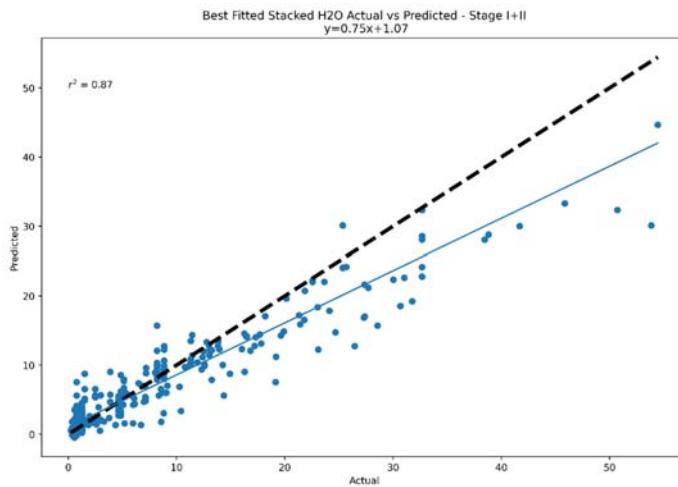
בקביעת מודל הרגרסיה ניתחנו את נתוני האקלים בתקופות שונות, בחודשים מאי-יוני, במאי עד אוגוסט, ועל פני כל התקופה בין מאי לאוקטובר (איסוף מידע חופף ולא עוקב, למשל, בהתאם לפנולוגיה של התפתחות הפרי, מבוסס על ההנחה כי הגורמים להיסדקות עשויים להיות נצברים, ואינם מופיעים רק בשלב פנולוגי זה או אחר). גילינו כי התקופה השנייה מצליחה לתת תוצאות חיזוי גבוהות מהתקופות האחרות. תקופה זאת מייצגת את השלב הראשון והשני של

טבלה 4: מספר מודלים מבוססי לימוד מכונה והערכה של הצלחת המודל לחזות את רמת היסדקות על בסיס מודל רגרסיה. הפרמטרים כוללים את רמת דיוק המודל וסטיית התקן, רמת הדיוק של זיהוי הקבוצה עם ערכי היסדקות הגבוהים.

	RMSE	RMSE train	MAE	MAE train	R ²	R ² train
FRESH-xgb	7.99 (1.04)	5.56 (0.43)	5.09 (0.97)	3.47 (0.28)	0.24	0.57
xgb	8.06 (1.80)	2.69 (1.92)	5.56 (1.49)	1.77 (1.22)	0.20	0.99
FRESH-cat	8.13 (1.11)	2.17 (2.23)	5.63 (1.33)	1.37 (1.55)	0.21	0.99
FRESH-cat-log1p	8.21 (0.83)	4.38 (0.97)	4.86 (1.08)	2.17 (0.57)	0.20	0.64
FRESH-H2O-LOGO (xgb)	7.72 (0.93)	4.62 (0.20)	5.17 (1.04)	2.68 (0.19)	0.29	0.78
Full-FRESH-0.05-xgb	7.86 (1.83)	5.14 (0.80)	4.99 (1.31)	3.11 (0.57)	0.24	0.60
Full-FRESH-0.01-xgb	8.03 (1.42)	5.66 (0.62)	4.99 (1.22)	3.41 (0.20)	0.22	0.62
Full-FRESH-Stage2-H2O-LOGO (xgb model 34)	7.38 (1.45)	6.01 (0.28)	5.01 (1.10)	3.71 (0.24)	0.34	0.58
Full-FRESH-Stage2-H2O-LOGO (xgb model 19)	7.44 (1.33)	4.72 (0.34)	5.06 (1.35)	2.97 (0.20)	0.33	0.77
Full-FRESH-Stage2-H2O-LOGO (gbm)	7.63 (1.74)	6.55 (0.32)	5.10 (1.26)	4.23 (0.31)	0.28	0.53
Full-FRESH-Stage2-Stacked-BestOfFamilyH2O-LOGO (DRF, XGB, GBM, GLM)	7.38 (1.35)	3.26 (0.2)	4.78 (1.13)	1.81 (0.1)	0.34	0.87
Full-FRESH-Stage2-Stacked-All-Models- H2O-LOGO (GLM, GBM x 3, XGB x 3)	7.42 (1.01)	4.33 (0.21)	4.99 (0.85)	2.63 (0.11)	0.34	0.78

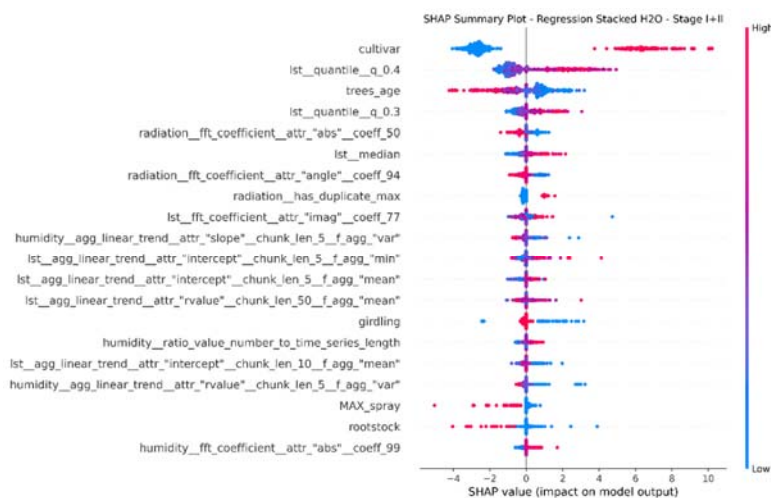
התפתחות הפרי, בה כנראה נקבעת ההיסדקות, ולכן לא מפתיע שבה ניתן לזהות ולחזות את הגורמים המשפיעים ביותר. בטבלה מס' 4 מוצגות תוצאות המודלים השונים, כאשר המודל העם יכול החיזוי הגבוה ביותר מודגש. מודל החיזוי עם התוצאות הטובות ביותר היה למעשה שילוב של ארבעה מודלים בעוצמה שונה: Random Forest, XGBoost, Gradient Boosting Machine, Generalized Linear Model (R²=0.87;RMSC=7.38) שימש אותנו בכדי להפיק את השפעת הגורמים השונים על תופעת ההיסדקות. איור 6

מציג את רמת החיזוי לאחר אימון המודל על כלל הנתונים. ניתן לראות כי לאורי מיעוט הנתונים באחוזי היסקות גבוהים, המודל נוטה להצליח פחות, ובאחוזים נמוכים של עד כ-15% המודל חוזר ברמה סבירה את אחוז היסקות.



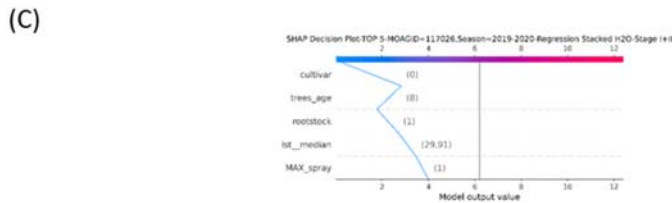
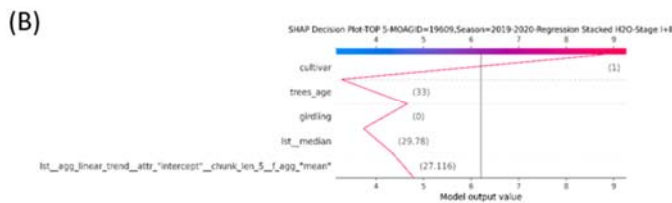
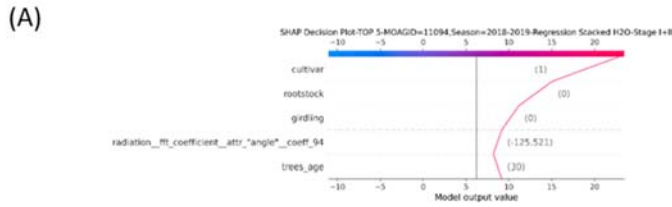
איור 6: ביצועי המודל המשולב בחיזוי אחוז היסקות מול מדידות בפועל על בסיס אימון על כל האוכלוסייה.

איור 7 מציג את ההשפעה של הגורמים המסבירים את תופעת היסקות ע"י מודל רגרסיה. השימוש בגרפי SHAP מציג בצורה ישירה את ההשפעה של כל גורם על חיזוי אחוז היסקות גם בעוצמה וגם בכיוון. העוצמה נקבעת לפי ערך הגורם, והכיוון נקבע לפי המיקום על ציר ה-X שמציג את ערכי ה-SHAP. במקרה זה כל יחידה מייצגת אחוז היסקות. לדוגמא, הגורם הראשון הינו הזן, והוא מסוג גורם קטגוריאלי שערכיו הם 0 לזן אורי ו-1 לזן נובה (מסיבה טכנית, כאשר בחרנו במודל משולב, כל גורם קטגוריאלי הפך לערכים נומריים בכדי לייצג נכונה את ערכיו על הסקלה מכחול לאדום או נמוך לגבוה. לפיכך, תמיד בחרנו לשייך ערך 1 לקטגוריה אחת ו-0 לאחרת, גם כאשר היו הרבה קטגוריות לגורם. אנו רואים כי כאשר הזן הוא אורי (צבע כחול או ערך 0), ערכי ה-SHAP בטווח של -2 עד -4, כלומר הזן אורי מוריד את אחוזי היסקות בין 2-4%, לעומת זאת בזן נובה (צבע אדום או ערך 1) אנו רואים פיזור גבוה יותר בטווח של 3-10% כלומר זן נובה מוסיף עד 10% בחיזוי היסקות. הגורם הבא, העשירון הרביעי של הטמפרטורה, מציג תמונה כי בערכים נמוכים יש הורדה של אחוזי היסקות עד 2%, ולעומת זאת בערכים גבוהים, יש העלאה של אחוז היסקות עד 5%. גם בגורם הבא, גיל העצים, אנו רואים שעצים מבוגרים מורידים את אחוזי היסקות בעד 4%, ולעומת זאת עצים צעירים מוסיפים לאחוזי היסקות עד 3%. איור 8 מציג גרפי החלטה על בסיס SHAP לשלוש

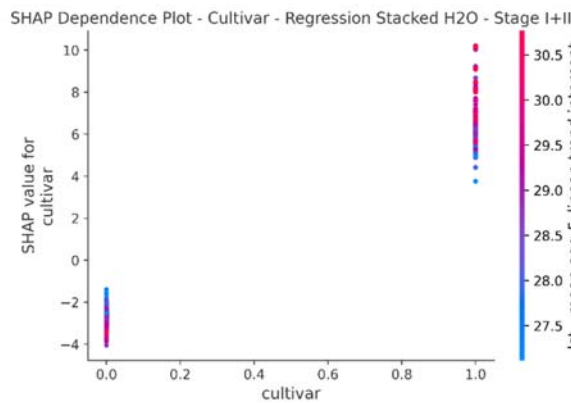


איור 7: ערכי SHAP ממוצעים, המציגים את סדר הגורמים המשפיעים והשפעתם על רמות היסקות. בנספח מס' 2 מופיע הסבר בעברית לגבי כל אחד מהפרמטרים.

מחלקות המחקר עם רמת היסדקות גבוהה, בינונית ונמוכה. נבחרו חמשת הגורמים המשפיעים ביותר בכל אחת מהחלקות על היסדקות על בסיס מודל הרגרסיה. בגרפים אלו, ציר ה-X מציג את אחוז ההיסדקות החזוי ע"י המודל.



איור 8: גרף החלטה על בסיס SHAP לשלוש מחלקות המחקר עם רמת היסדקות גבוהה (A), בינונית (B) ונמוכה (C). נבחרו חמשת הגורמים המשפיעים ביותר בכל חלקה ב המשפיעים על תופעת ההיסדקות על בסיס מודל הרגרסיה. מספרי החלקות מופיעות בכותרת האיור (A) 20199, (B) 19609, (C) 117026.

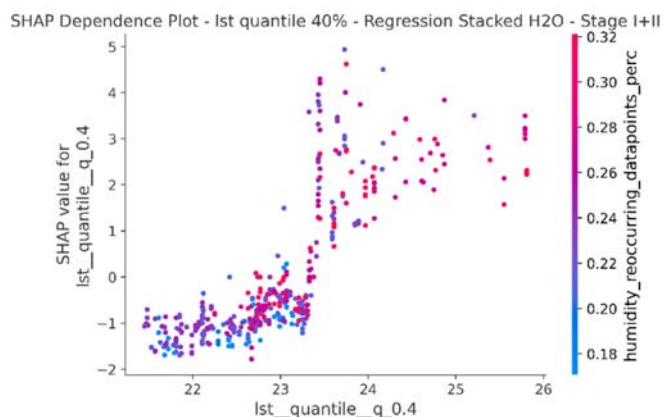


איור 9: גרף תלות של הזן אורי (ערך 0) או נובה (ערך 1), באינטראקציה עם גורם טמפרטורה של מיצוע 5 ערכים עוקבים ויצירת קו מגמה ליניארי וחילוץ ערך החיתוך עם ציר Y.

איור 9 מציג את רמת השפעתו של גורם הזן, וכן כיצד הוא מופיע באינטראקציה עם גורם נוסף, גורם הטמפרטורה על בסיס המניפולציה הבאה: הורדת תדירות הערכים, ע"י לקיחת חמישה ערכים עוקבים, וביצוע פונקציית צבירה של ממוצע (ממוצע של חמישה ערכים רציפים וקביעת קו מגמה לכל הנקודות החדשות). על בסיס סידרת הערכים החדשה נמצא קו המגמה הליניארי וחולץ ממנו ערך החיתוך עם ציר Y (intercept). טווח הזמן שונה לתקופה השנייה הכוללת את סידרת ערכי הטמפרטורה בין מאי לאוגוסט. המשמעות של טמפרטורה עולות היא שתמיד יש לצפות לקו מגמה עולה, וניתן להניח כי ערכי חיתוך עם ציר Y נמוכים יהיו באזורים בעלי טמפרטורה נמוכה, לעומת ערכי ציר Y גבוהים באזורים בעלי טמפרטורה גבוהה. את המידע שהסברנו בגרף הכללי ניתן לראות שוב בגרף התלות, אך הפעם הוספנו באינטראקציה את הגורם של טמפרטורה על בסיס המניפולציה לעיל, המידע החשוב הנגזר מגרף זה הנו כי עבור הזן נובה, אזורים חמים מחמירים את תופעת ההיסדקות, עד כדי הוספת של 10%. לעומת זאת, בזן אורי התופעה הפוכה,

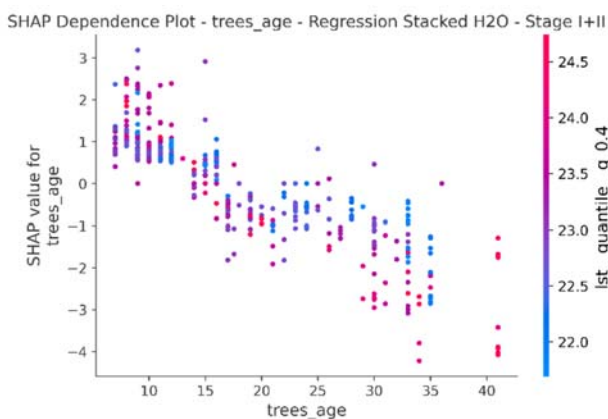
כלומר דווקא באזורים חמים יש הורדה בו של אחוזי ההיסדקות עד 4%, לעומת אזורים קרים בהם ההיסדקות יורדת כ- 2% בלבד.

איור 10 מציג את התלות בין גורם העשירון הרביעי של הטמפרטורה והלחות. ניתן לראות כי מתחת לסף של כ-23.5°C ככל שמשנתנה הטמפרטורה יש מגמה מתונה של הורדת אחוז ההיסדקות עד כ-2%. לעומת זאת מעבר לסף זה, ישנה תמיד הוספה של אחוזי היסדקות אך בפיזור גבוה יותר, מה שגורם לתוספת של 1-5% להיסדקות.



איור 10: גרף תלות של גורם העשירון הרביעי של הטמפרטורה, בשילוב אינטראקציה של גורם לחות על בסיס אחוז ערכים חוזרים.

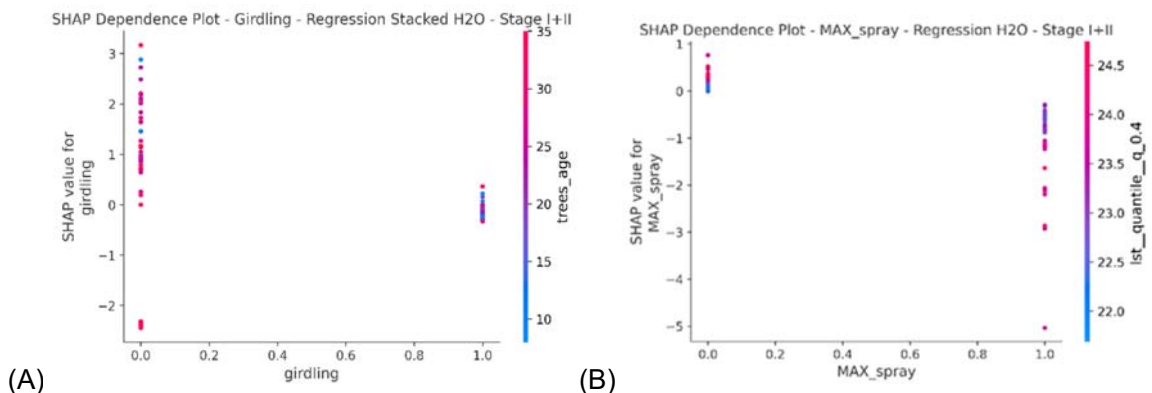
בגרפי התלות של העשירון השלישי של הטמפרטורה, והחציון של הטמפרטורה, מגיעים לאותן מסקנות על פיהן יש מגמה קבועה להורדה או הוספה של אחוזי היסדקות ביחס לטמפרטורה רלוונטיות לטווחים הללו (נתונים אינם מוצגים). באיור 11 מוצגת התלות בין גיל העצים לעשירון הרביעי של הטמפרטורה. וניתן לראות מגמה ברורה של ירידה באחוזי ההיסדקות ככל שהעצים בוגרים יותר. קו המגמה הדמיוני יוסיף עד 3% היסדקות לעצים צעירים בני עד 10 שנים. קו השינוי הנו בעצים בני למעלה מ-15 שנה, כאשר בעצים בוגרים בני 35 ו-40 שנה ירדו אחוזי ההיסדקות עד 4%. לא התקבלה מובהקות של גורם האינטראקציה גיל העצים עם העשירון הרביעי של הטמפרטורה.



איור 11: גרף תלות של גורם גיל העצים בשילוב אינטראקציה של גורם העשירון הרביעי של הטמפרטורה.

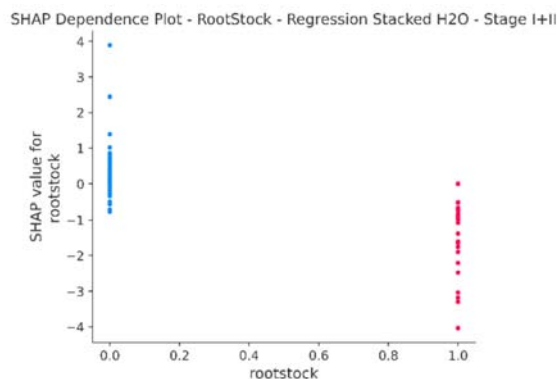
גורמים מסבירים מעניינים נוספים היו חיגור אביבי, ושימוש במקסים (אוקסין הסינטטי, 3,5,6-TPA), הטיפול המשקי להורדת אחוז ההיסדקות הניתן על פרי בגודל 30 מ"מ. באיור 12A מופיעה התלות בין גורם החיגור האביבי לגיל העצים. כאשר הוא אינו מבוצע בעצים תופיע הוספת היסדקות של עד 3%, לעומת חוסר השפעה כאשר מבצעים חיגור אביבי

(ערכי ההשפעה סביב 0). על בסיס גורם האינטראקציה גיל העצים, ניתן לראות שדווקא בעצים הצעירים הפעולה משמעותית יותר, וכי העצים הבוגרים פחות נזקקים לפעולה זו.



איור 12: תלות של גורם חיגור אביבי בשילוב אינטראקציה של גורם גיל העצים (A), תלות טיפול בהורמון מעקב מקסים באינטראקציה עם טמפרטורה באחוזון 40 (B).

באיור 12B נבחר הריסוס בהורמון מקסים. כאשר מבצעים טיפול זה מביאים לירידת אחוזי היסדקות של עד 3% ואף 5%. לעומת זאת ללא טיפול נשארים ללא שינוי באחוזי היסדקות או להוספה של עד 1%. באינטראקציה עם גורם העשירון הרביעי של הטמפרטורה ניתן לראות כי טיפול במקסים באזורים חמים משפיע יותר ומוריד עוד יותר את אחוזי ההיסדקות. לעומת זאת ללא טיפול במקסים ניתן לראות שאזורים חמים מביאים לעלייה באחוזי ההיסדקות לעומת האזורים הקרים. באיור 13 מוצג גורם הכנה, כאשר על בסיס ידע מוקדם, לאורי קיום כמה סוגי כנות באוכלוסייה, נקבע מראש כי הערך 1 מייצג את הכנה וולקימריאנה, לעומת הערך 0 שהוא שאר הכנות. ניתן לראות כי הכנה וולקימריאנה מצליחה להוריד את ההיסדקות בעד 4%, לעומת שאר הכנות שהביאו להוספת אחוזי היסדקות של עד 4%.



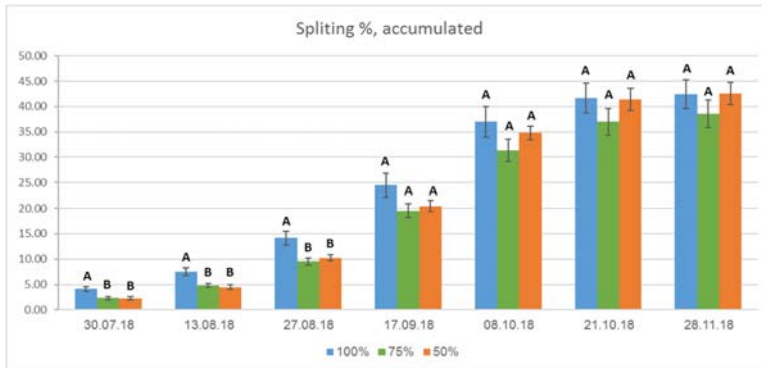
איור 13: גרף תלות של גורם הכנה, כאשר ערך 1 מייצג את קנה וולקימריאנה, לעומת שאר הכנות המיוצגות ע"י הערך 0.

מטרה 2: פרוטוקול השקיה

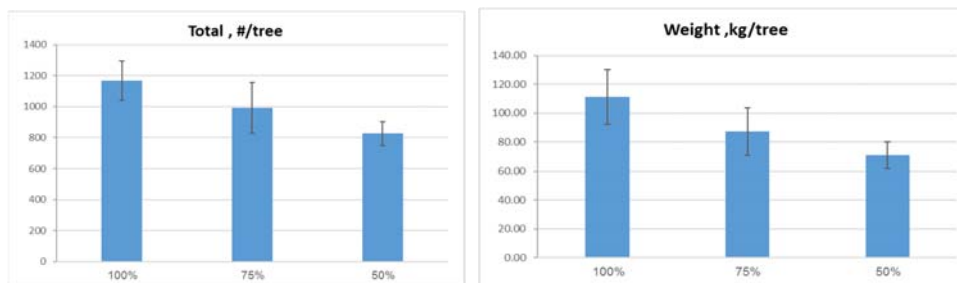
במשך שלש שנות המחקר, הוקמו שלשה ניסויי השקיה. ניסוי בזן נובה בנען, עם שתי שנות איסוף נתונים (שנה ראשונה ושניה למחקר), ניסוי בזן אורי בנען (שנה שניה מחקר), עם שנת איסוף נתונים אחת, וניסוי בזן אורי בספריה, עם שנת איסוף נתונים אחת (שנה שלישית למחקר). לצערנו, הניסויים בנען הופסקו טרם זמנם בגלל עקירת החלקות.

בזן נובה בוצעו הניסויים הבאים:

בשנה הראשונה בוצעה השקיה דיפרנציאלית של 50%-75% בתקופה אחת: בתחילת יולי, 50% לשלשה שבועות, ו-75% לששה שבועות לערך. עצי ביקורת הראו שיעור היסדקות גבוה יותר מעצי הטיפול עד לתחילת ספטמבר, ואז שיעור מספר הפירות הסדוקים היה דומה (איור 14). למרות שהתוצאות לא היו מובהקות, נראה כי השקיה מופחתת הפחיתה את מספר הפירות הכולל לעץ ולכן את כמות היבול (איור 15).

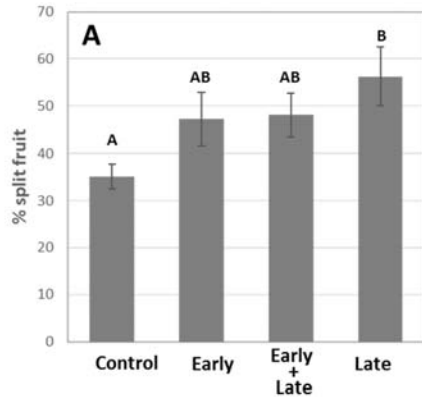


איור 14: אחוז היסדקות המצטבר בנובה בהשפעת השקיה מופחתת. אחוז ההיסדקות חושב ביחס למספר הפירות הכללי בקטיף (+פרי סדוק)

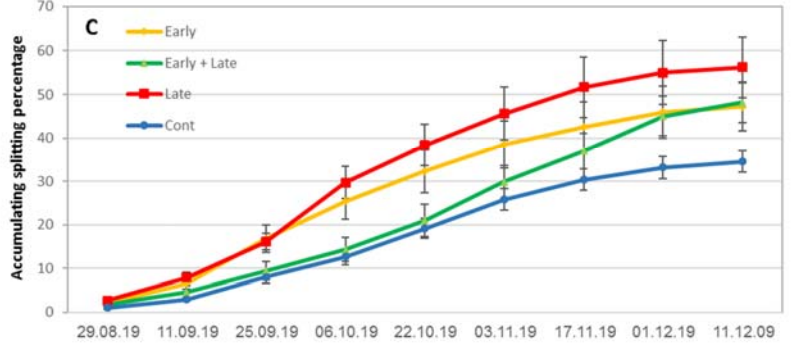
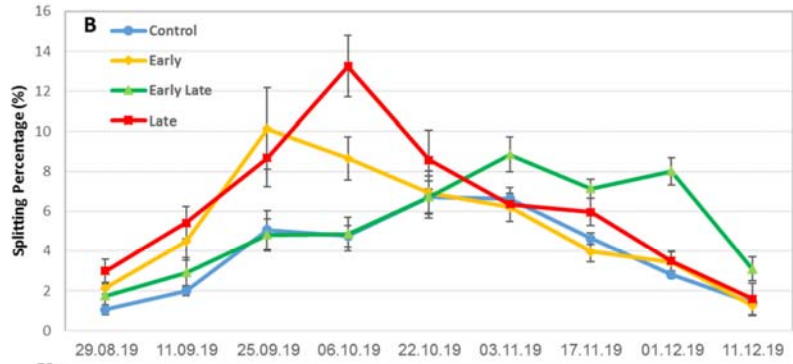


איור 15: יבול סופי בנובה בהשפעת הפחתת מנת המים היבול הסופי, מספר פירות לעץ משמאל (ללא פרי סדוק) וק"ג לעץ (ימין).

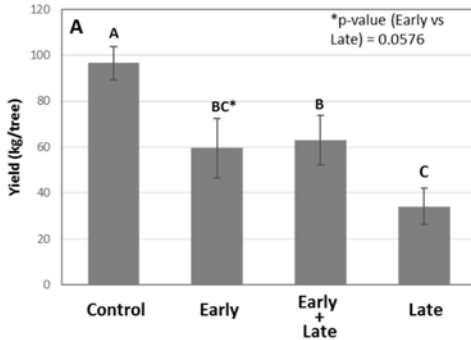
לאורי תוצאות השנה הראשונה, בשנה השנייה בוצעה הפחתה אחידה בשתי תקופות שונות של העונה. טיפול ראשון כלל הפחתת מנת המים ל-60% ממנת המים המשקית בין התאריכים 3.5.19-14.6.19 (Early, E), טיפול שני כלל הפחתת מנת המים ל-60% ממנת המים המשקית בין התאריכים 1.9.19-22.10.19 (Late, L), וטיפול שלישי כלל הפחתת מנת המים בשני המועדים (Early + Late, E+L). בעצי הביקורת הייתה היסדקות כוללת של 35% בעוד שבטיפול L ההיסדקות עלתה ל-56%, כאשר שני הטיפולים האחרים, E ו-E+L הציגו ערכי ביניים שלא היו מובהקים



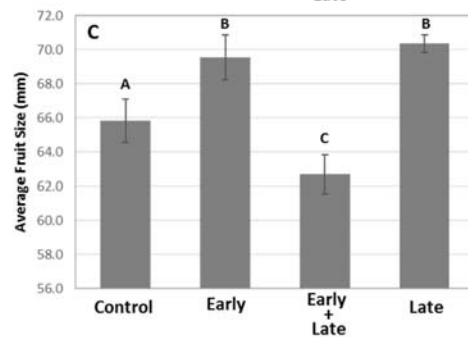
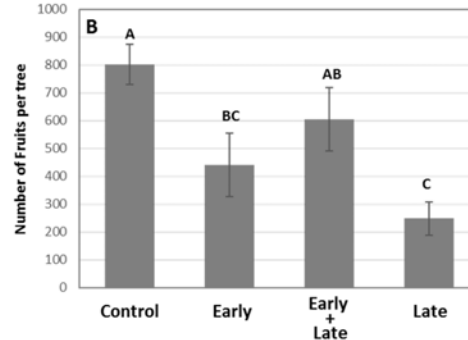
איור 16: היסדקות בזן נובה לאחר הפחתת השקיה. הפחתת השקיה ל-60% מהנורמה בוצעה בתחילת העונה (Early) בסוף העונה (Late) או בשני המועדים (Early + Late) כמפורט בטקסט. A. אחוז היסדקות סופי, B. אחוז היסדקות במועדים שונים, C. אחוז היסדקות מצטבר.



משיני טיפולי הקיצון (איור 16A,C). גרף היסדקות העונתי (איור 16B) הראה כי הטיפולים השונים נבדלו בשיא היסדקות; בטיפולים E-L, השיא הופיע בתחילת אוקטובר, בעוד שבטיפול הביקורת וטיפול E+L, השיא הופיע



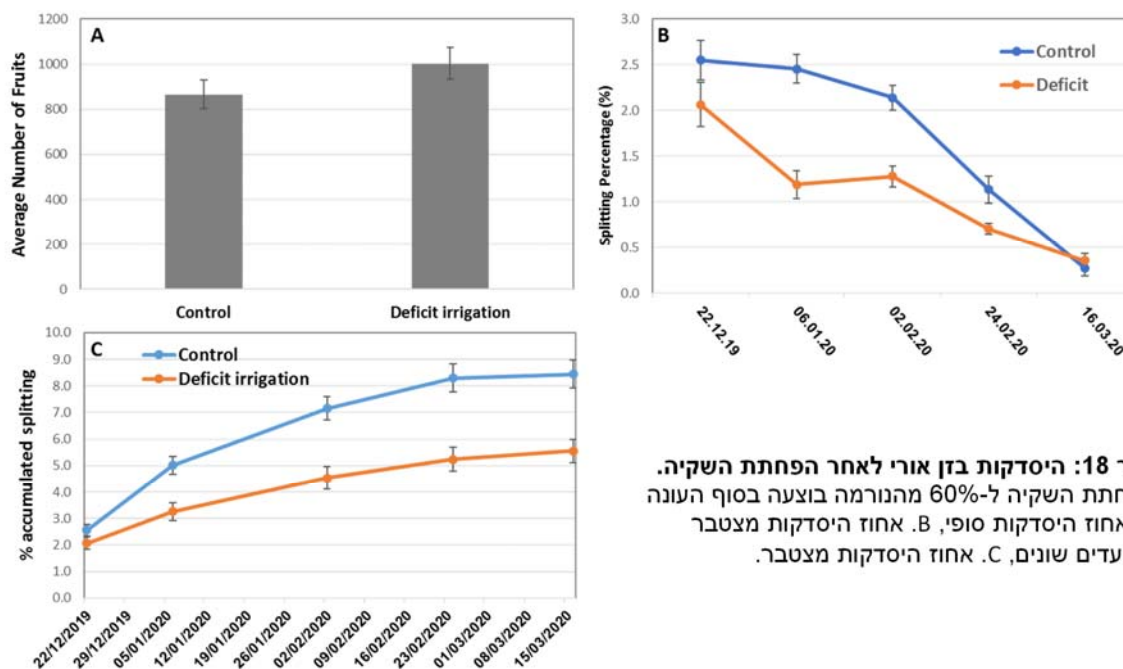
איור 17: יבול הזן נובה בהשפעת הפחתת השקיה. הפחתת השקיה ל-60% מהנורמה בוצעה בתחילת העונה (Early) בסוף העונה (Late) או בשני המועדים (Early + Late) כמפורט בטקסט. A. יבול לעץ, B. מספר פירות לעץ, C. גודל פרי ממוצע.



כחודש מאוחר יותר. בהתאמה לתוצאות היסדקות, מספר הפירות בעצי הביקורת היה הגבוה ביותר, והוא היה מובהק לעומת טיפולי E-ה-L, אך לא מובהק מטיפול E+L (איור 17B), בהתאמה למשקל הפרי לעץ (איור 17A). כצפוי, גודל פרי ממוצע הראה תמונת הפוכה למספר הפירות, בטיפולים עם מספר הפירות הגבוה ביותר, הפרי היה קטן יותר

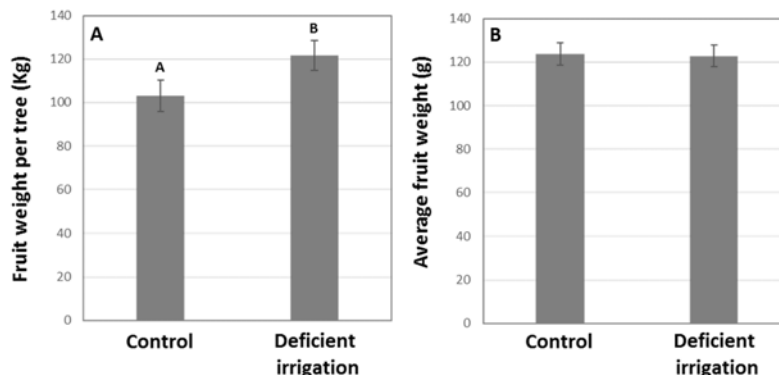
איור 17C). בניסוי זה ביצענו מעקב עם חיישני גודל פרי וחיישני גזע, והם סיפקו הסברים מעניינים לתוצאות, כפי שמפוט בדו"ח השנה השנייה למחקר.

בזן אורי בוצעו הניסויים הבאים:



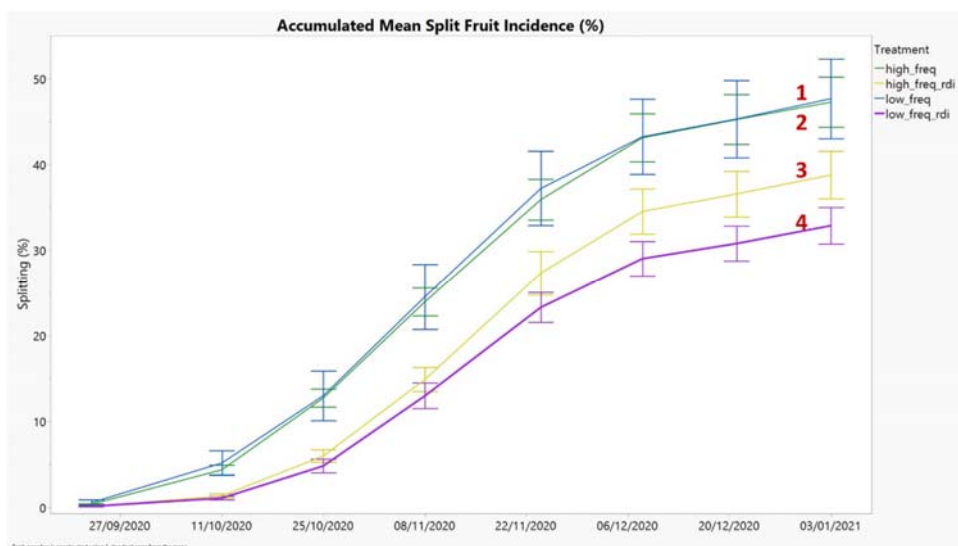
איור 18: היסדקות בזן אורי לאחר הפחתת השקיה. הפחתת השקיה ל-60% מהנורמה בוצעה בסוף העונה A. אחוז היסדקות סופי, B. אחוז היסדקות מצטבר במועדים שונים, C. אחוז היסדקות מצטבר.

בשנת המחקר השנייה בנען, הופחתה מנת המים רק במועד מאוחר יחסית, בין התאריכים 1.9.19 ו-22.10.19. כללית, עצמת ההיסדקות בזן אורי בשנת הניסוי הייתה נמוכה יחסית והגיעה בעצי ביקורת ל-8.5% (איור 18). הפחתת מנת המים במועד מאוחר הביאה להפחתת ההיסדקות ל 5.5% מכלל הפירות (איור 18C), כאשר העלאה במספר הפירות לא הראתה מובהקות בגלל המספר הנמוך של הפירות הנסדקים (איור 19A). היבול לעץ עלה מ-103 ק"ג בביקורת ל-120 ק"ג בטיפול ההשקיה המופחתת (איור 14A), אך לא היה הבדל במשקל פרי ממוצע (איור 19B).



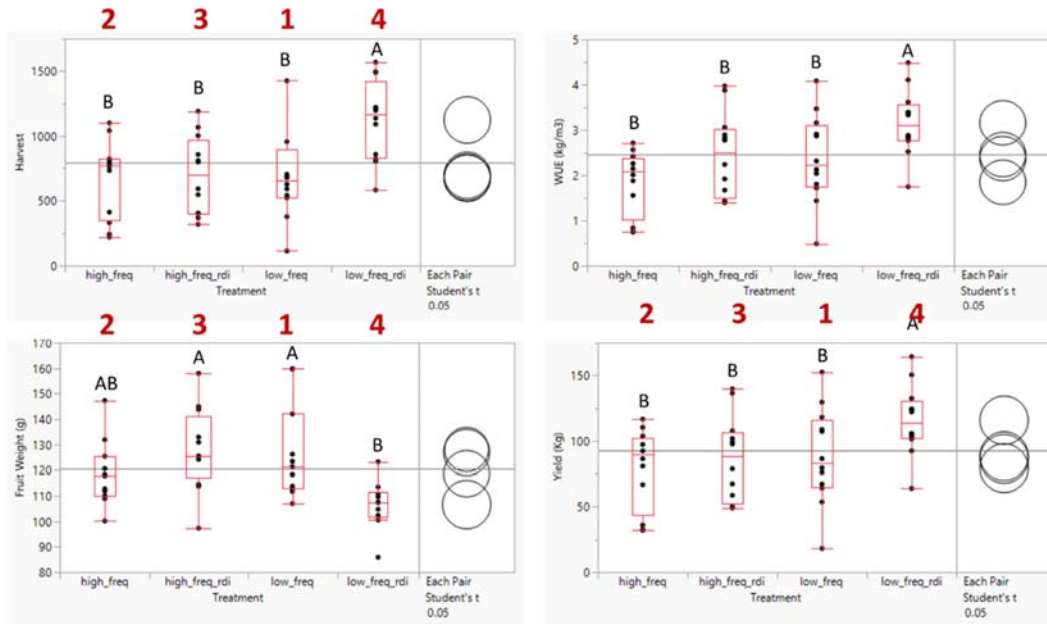
איור 19: יבול הזן אורי בהשפעת הפחתת השקיה. הפחתת השקיה ל-60% מהנורמה בוצעה בסוף העונה A. יבול לעץ, B. גודל פרי ממוצע.

הניסוי השני באורי, בשנת המחקר השלישית בוצע בספריה. ניסוי זה נועד לבחון שני אלמנטים, צמצום מנת המים, ופיזור למנות שונות מתוך הנחה כי השקיות תדירות יותר יפחיתו שינויים קיצוניים בזרימת המים לפרי, ואולי יורידו עצמת ההיסדקות. לפיכך, בניסוי זה תוכננו ארבעה טיפולים: הפחתת השקיה, כאשר ההשקיה ניתנת פעמיים בשבוע (lfr, טיפול מס' 4), הפחתת השקיה כאשר ההשקיה ניתנת ארבע פעמים בשבוע (hfr, טיפול מס' 3), והשקיה משקית פעמיים (lf, טיפול מס' 1) או ארבע פעמים בשבוע (hf, טיפול מס' 2). בגלל בעיות תפעוליות במערכת ההשקיה וכשל במערכת, הטיפולים לא התקיימו כמתוכנן, אבל, למרות זאת, ניתן היה להפיק תוצאות מעניינות מהניסוי. בפועל, בתום הניסוי אובחנו שינויים בהיסדקות בין הטיפולים השונים (איור מס' 20).



איור 20: אחוז היסדקות מצטבר בארבע טיפולי השקיה, כמפורט בטקסט

שני הטיפולים עם השקיה משקית (ללא קשר לתדירות ההשקיה) הביאו להיסדקות סופית בשיעור של כ-45%. הפחתת מנת המים הפחיתה היסדקות סופית ל-35% ו-30% בהשקיה ארבע פעמים ופעמיים בשבוע, בהתאמה. בטיפול בעל עצמת ההיסדקות הנמוכה ביותר היה היבול הגבוה ביותר, גם מבחינת מספר פירות וגם במשקל הפרי לעץ, ובהתאמה התקבל הפרי הקטן ביותר (איור מס' 21). יש לציין כי פרי קטן יותר נוטה פחות להיסדקות. אולם, תוספת היבול בטיפול 4 הייתה בהתאמה מלאה לפחיתה בהיסדקות. לפיכך, מוצע כי תוספת היבול בגלל הפחתת ההיסדקות היא שהביאה לפרי קטן יותר, בגלל היחס הפוך בין מספר פירות לגודלם הסופי.



איור 21: יבול ועילות תצורות מים בניסוי השקיה באורי. מספר פירות לעץ (גרף עליון שמאלי, משקל פרי ממוצע (גרף שמאלי תחתון), יעילות תצורות המים (ק"ג פרי מ"ק מים, גרף ימני עליון) ויבול בק"ג לעץ (גרף ימני תחתון) בארבעת הטיפולים, כמפורט בטקסט.

לאורי תוצאות אלו, חזרנו לאחור ושאלנו מה השתנה בין הטיפולים בפועל מבחנת ההשקיה. בטבלה 5 מוצגות כמויות

המים החודשיות (בקירוב) במ"ק לדונם לשבוע

טבלה 5: השקיה בפועל בניסוי השקיה באורי. השקיה בפועל בהשוואה להשקיה משקית בארבעת הטיפולים, כמפורט בטקסט במ"ק לדונם ליום (עליון), במ"ק לדונם ליום (באמצע) וכאחוז מהשקיה משקית (תחתון) במועדים המצוינים

(חלק עליון), במ"ק לדונם ליום, ובאחוזים ביחס להשקיה המשקית (Standard).

m3/dunam/week	hf- 2	lf- 1	hfr-3	lfr-4	Standard
Apr-26 - Jun-6	11.9	9.2	2.4	4.1	19.4
Jun-7 - Jul-11	20.8	21.0	20.0	21.1	23.1
Jul-12 - Aug-15	22.3	19.7	22.5	20.8	27.3
Aug-16 - Sep-19	28.8	28.6	27.3	26.2	28.7
Sep-20 - Nov-7	35.6	27.5	27.6	30.9	28.7
m3/dunam/day	hf- 2	lf- 1	hfr-3	lfr-4	Standard
Apr-26 - Jun-6	1.7	1.3	0.3	0.6	2.7
Jun-7 - Jul-11	2.9	3.0	2.8	3.0	3.3
Jul-12 - Aug-15	3.1	2.8	3.2	2.9	3.9
Aug-16 - Sep-19	4.1	4.0	3.9	3.7	4.1
Sep-20 - Nov-7	5.0	3.9	3.9	4.4	4.1
%	hf- 2	lf- 1	hfr-3	lfr-4	Standard
Apr-26 - Jun-6	61%	48%	13%	21%	100%
Jun-7 - Jul-11	90%	91%	87%	92%	100%
Jul-12 - Aug-15	82%	72%	83%	76%	100%
Aug-16 - Sep-19	100%	100%	95%	91%	100%
Sep-20 - Nov-7	124%	96%	96%	108%	100%

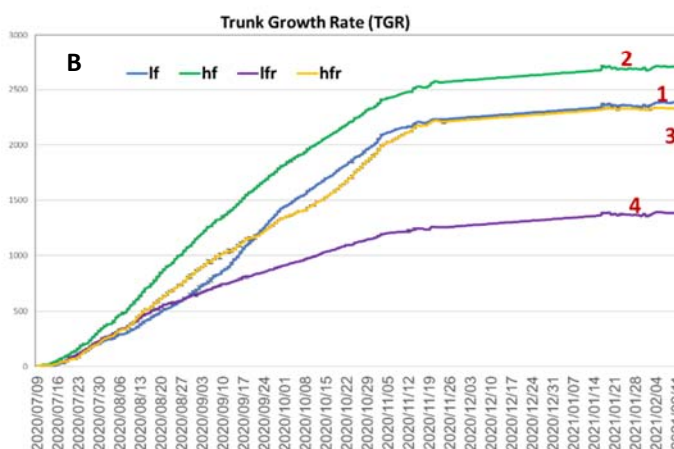
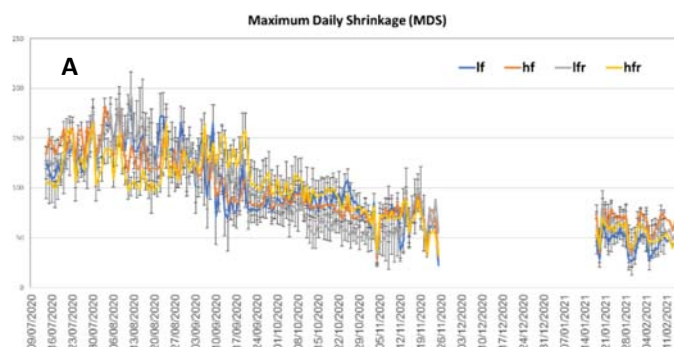
ניתן לראות בטבלה שבגלל הבעיות הטכניות,

הפחתת ההשקיה התבצעה במהלך ארבעים היום הראשונים לעונה. גם בטיפולים שתוכננו להיות משקיים הייתה הפחתה ל-50-60%, ובטיפולי הפחתת ההשקיה, ניתנה 13% ו-21% ממנת המים, להשקיה ארבע פעמים בשבוע ופעמיים בשבוע, בהתאמה.

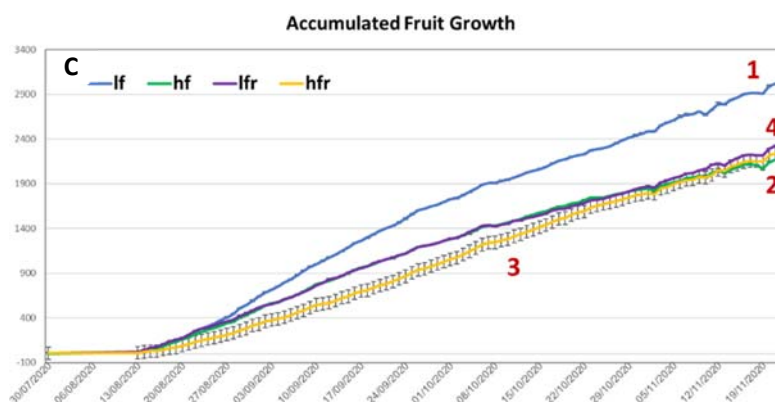
בניסוי זה הותקנו חיישני גזע ופרי, והמידות החלו בתחילת יולי. התכונות גזע מקסימאלית (MDS, Maximal Daily Shrinkage) לא הראתה שינוי בין הטיפולים השונים, וזה לא

מפתיע כי ההשקיה נעשתה זהה בכלום כחודש לפני תחילת המדידה (איור 22A). לעומת זאת, הטיפול עם הפחתת ההשקיה לרמה של 21% מההשקיה המשקית, טיפול 4, הראה גידול גזע הנמוך ביותר בעוד שהטיפול עם הפחתת ההשקיה הנמוכה ביותר, טיפול 2 (61% מהשקיה משקית) הביא לגידול גזע הגבוה ביותר (איור 22B). מעניין ששני הטיפולים האחרים, טיפול 3 וטיפול 1, אשר בהם הייתה הפחתת השקיה של 13% ו-48%, בהתאמה, נתנו ערכי ביניים, ולא נבדלו בניהם באופן מהותי. גידול מצטבר של הפרי נתן גם הוא תוצאות מעניינות (איור 22C). הגידול הגבוה ביותר

הופיע בטיפול 1 בו הייתה הפחתת השקיה בשיעור של 48% לעומת השקיה משקית בתחילת העונה. טיפול 3, עם 13% מההשקיה המשקית בתחילת העונה, הוריד באופן משמעותי את גידול הפרי לעומת הטיפולים האחרים, אבל לקראת



איור 22: מדדי גזע ופרי. התכווצות יומית מקסימאלית (MDS), גידול גזע (TGR) וגידול הפרי (Accumulated fruit growth) בארבעה הטיפולים, כמפורט בטקסט

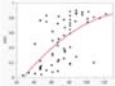
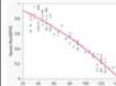
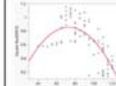
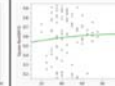
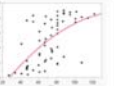
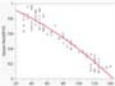

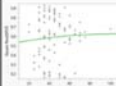


סוף אוקטובר קצב הגידול עלה וחזר לזה של הטיפולים האחרים. טיפולים 4 ו-2, עם הפחתת השקיה ל-21% ו-61% מהמשקית, בהתאמה, לא נבדלו בניהם מבחינת גידול הפרי לאורך כל העונה.

סיכום ניסויי ההשקיה: התכווצות גזע יומית מקסימאלית (MDS) ושינויים יומיים בנפח הפרי

במהלך שלש שנות הניסוי נעשה שימוש בחיישני גודל פרי וגזע, שנתיים בנובה (נען) ושנה באורי (ספריה). נבדקו התאמות בין שיעור ההיסדקות למדדים השונים, ונמצאו התאמות ל-MDS ושינויים יומיים בקוטר הפרי (FDV, Fruit Daily Variation) (טבלה 6). בטבלה מוצגים סוגי ההתאמות השונות, ישרה, הפוכה, היפרבולית וללא התאמה, ומספר החיישנים (עצים) שהראו כל סוג התאמה (בסוגריים), התאמות שלא עברו מבחן סטטיסטי ע"י רגרסיה לוגריתמית למובהקות בין MDS או FDV לבין שורש שיעור ההיסדקות ברמה של 0.4). ברוב המקרים (שלוש שנות מדידות), נצפתה

התאמה ישרה בין ערכי MDS לערכי היסדקות. לעומת זאת, ברוב המקרים אובחנה התאמה הפוכה בין ערכי FDV לשיעור ההיסדקות.

Year-Cultivar-location	MDS Vs. Splitting percentage				FDV Vs. Splitting percentage				# trees
	Linear	Inverse	Hyperbolic	No trend	Linear	Inverse	Hyperbolic	No trend	
									
2018-Nova Naan	0	7(4)	0	(1)	3(6)	0	0	(3)	12
2019-Ori Naan	(1)	0	3(6)	(1)	7(1)	0	1(1)	9(1)	11
2020-Ori Safaria	(2)	11(1)	0	(4)	1(9)	3(1)	0	(4)	18
SUM	(3)	18(5)	3(6)	(6)	11(16)	3(1)	1(1)	(8)	41

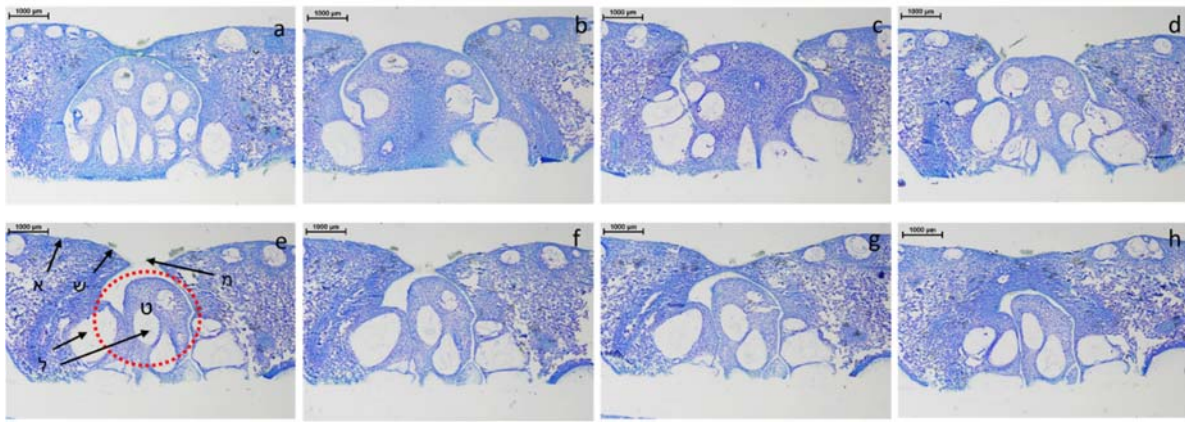
טבלה 6: קשר בין התכונות יומית מקסימלית (MDS), ושינויים יומיים בנפח הפרי (FDV) לבין שיעור היסדקות. מספר ההתאמות הסיגניפיקנטיות (בסוגריים, לא סיגניפיקנטיות) בכל אחד מהניסויים בנובה ובאורי, כמפורט בטבלה, בין MDS או FDV לשורש שיעור ההיסדקות. המובהקות (ברמה מינימאלית של 0.4) נקבעה ע"י רגרסיה לוגריתמית.

מטרה 3: מורפולוגיה ואנטומיה

מחקר השוואתי בין זנים בעלי נטייה שונה להיסדקות

היסדקות קליפה בזני מנדרינה מתחילה ברוב המקרים באזור הפיטם. במנדרינה נובה, נמצא קשר בין מבנה הפיטם להיסדקות קליפה, כאשר פיטם המכיל טבור גדול או פיטם פתוח היו בקורלציה להיסדקות פירות. מאידך, קיימים זני מנדרינה בעלי טבור מפותח אשר אינם רגישים לתופעה. במסגרת מחקר זה, הושושו שלשה זנים בעלי נטייה שונה להיסדקות, עם ובלי טבור: אורי, זן עם רגישות מועטה עד בינונית להיסדקות, נובה, זן עם רגישות גבוהה להיסדקות, אודם, זן ללא רגישות להיסדקות אך עם רקמת טבור מפותחת. בשנים 2018 ו-2019 נאסף מדגם של פירות משלושה זנים משלוש חזרות ביולוגיות. בניסוי 2018 נדגם דיגום יחיד בינואר 2019, ובשנת הניסוי 2019 נאסף מדגם לאורך התפתחות הפרי עד לתחילת מועד היסדקות. מהפירות נדגמה קליפה מאזור הפיטם. בדגימות אלה בוצעה היסטולוגיה.

בשנת 2019 נאספו דגימות קליפה מאזור הפיטם (כולל רקמת הטבור) משלושת הזנים, נובה, אורי ואודם. הדגימות נאספו בארבעה מועדים, 30, 60, 120, ו-180 יום משיא פריחה. הדגימות קובעו בפרפלסט, ועברו הכנה לבחינה במיקרוסקופ אור. הדגימות נפרסו באופן רציף לכל אורך הדגימות כדי לקבל תמונה על המבנה המרחבי של חלל הפיטם ורקמת הטבור. ההנחה הייתה שימצאו שינויים היסטולוגיים בפיטם של הזנים השונים בנטייתם להיסדקות.

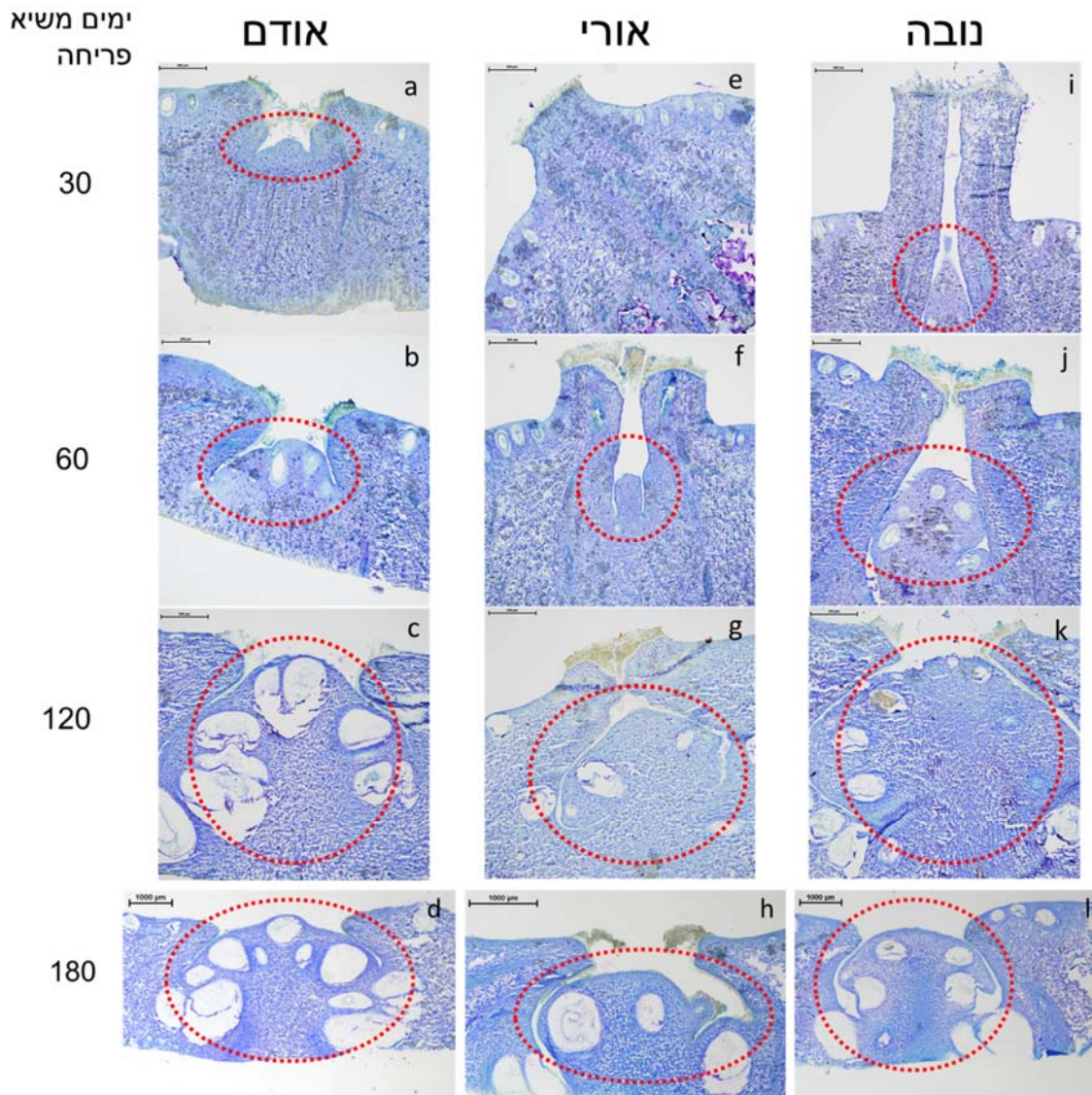


תמונה 1: מבנה פיטם של פרי אודם. תמונות של חיתוך לאורך הפיטם מהתחלה לסוף בקליפת מנדרינה מזן אודם 180 יום משיא פריחה. a-h – סדר התמונות, כאשר a ראשונה ו-h אחרונה. א- אפידרמיס ט- טבור ל- לוזי שמן מ- פתח הפיטם ש- שאריות עמוד העלי.

תמונה 1 מדגימה מהלך חיתוך הפיטם שנעשה בכל הזנים, כאשר מכל צבר של תמונות כזה נבחרה תמונה אחת מייצגת של גודל הטבור ומבנהו לצורך ההשוואה בין הזנים, בדר"כ תמונת חתך של אמצע הפיטם. חלל הפיטם ורקמת הטבור המצויים תחת פני שטח הקליפה, גדולים יותר מכפי שניתן להעריך מהגודל של הפתח החיצוני של חלל הפיטם. לכן, בחתך הראשון (תמונה 1a) ניתן לראות את רקמת הטבור, בחלק שבו היא עדיין מכוסה בשכבת קליפה דקה (תמונה 1a). התקדמות פנימה למרכז חלל הפיטם, מראה את חלל הפיטם עם הפתח החיצוני שלו (הקוטע את רצף הקליפה), ורקמת טבור מפותחת (חץ בתמונה 1e). נראה כי חתך זה מייצג את מרכז חלל הפיטם ורקמת הטבור. חתכי ההמשך מדגימים את המשך רקמת הטבור מנקודת המרכז שלה, ועד לסופה, כאשר רואים את הסגירה ההדרגתית של מפתח הפיטם עד לחתך האחרון בו שולי רקמת הטבור נמצאים עמוק מתחת לקליפה (תמונה 1h). ברקמת הטבור מופיעים לוזי שמן גדולים מאוד ביחס ללוזי שמן שבפני שטח הקליפה (תמונה 1).

כפי שנאמר, כדי לבחון האם יש קשר בין מבנה הפיטם לרגישות הזן לסדקים, הוכנו חתכים אנטומיים לרקמות הפיטם של שלושת הזנים אודם, נובה ואורי, וזאת בארבעה מועדים במהלך הגידול (תמונה 2).

התפתחות ראשונית של הטבור נראתה באודם ונובה, 30 יום משיא פריחה (תמונות 2a, i). במועד זה לא נצפתה רקמת טבור בזן אורי (תמונה 2e), אלא מאוחר יותר בדיגום הבא של 60 יום משיא פריחה (תמונה 2f). כבר במועדים ראשונים אלה רואים כי חלל הפיטם קטן יותר באודם משני האחרים, ורקמת הטבור בו קרובה יותר לפני השטח של הקליפה, בהשוואה לזו של 'נובה' ו'אורי' המצויה בעומק חלל הפיטם (תמונה 2a, b בהשוואה לתמונה 2i, f, j). באודם ו'נובה' רקמת הטבור גדלה במהלך עונת הגידול וממלאה את חלל הטבור שגדל גם כן (תמונה 2c, k), ולמעשה בסוף העונה אין הבדל משמעותי במבנה הפיטם בין שני הזנים (תמונה 2d, l). התפתחות רקמת הטבור ב'אורי' מאחרת יחסית לשני הזנים האחרים בדיגום של 120 ימים משיא פריחה (תמונה 2g), אולם ב 180 ימים משיא פריחה כבר אין הבדל מהותי בגודל הפיטם של שלושת הזנים, אם כי באודם הפיטם נראה שטוח יותר וקרוב לפני שטח הקליפה (תמונה 2d, h, l). בנוסף, בדיגום האחרון, רקמת הטבור של שלושת הזנים מועשרת בלוזי שמן בעלי נפח גדול יחסית לגודל הרקמה. **לסיכום**, בזן אודם שהינו עמיד לסדקים, חלל הפיטם "שטוח" יחסית לזה של שני הזנים הרגישים להיסדקות, ורקמת הטבור קרובה יותר לפני שטח הקליפה. ניתן להציע כי רקמת הטבור ב'נובה' ו'אורי' המצויה בעומק חלל הפיטם מפעילה לחץ מלמטה כלפי מעלה, ובכך מחלישה את הקליפה, גם אם הסדקים מתפתחים מאוחר יותר.

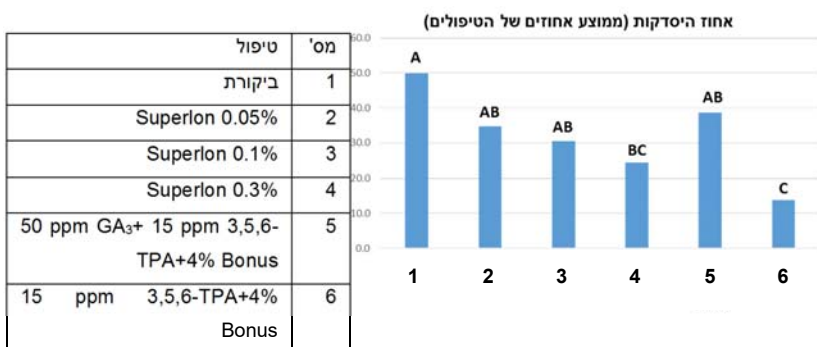
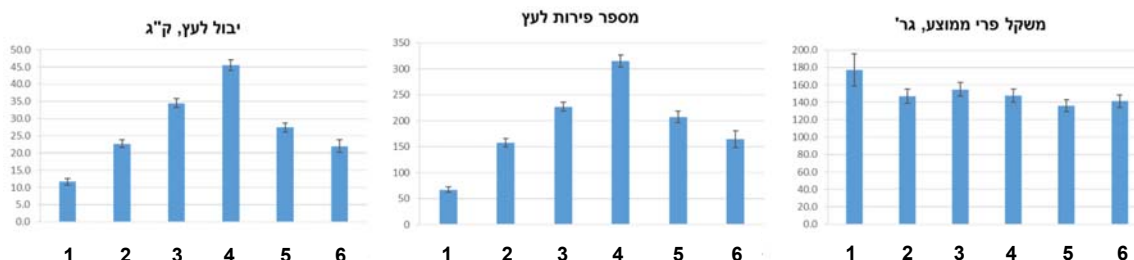


תמונה 2: השוואה בין הזנים בארבעה מועדי דיגום 30, 60, 120, 180 יום משיא פריחה. התמונות מייצגות חתכי קליפה במרכז פיסם הפרי (כפי שהוסבר בתמונה 1). חתכי הזנים "אודם", "אורי", "נובה" מסודרים בטורים, והחתכים במועדים השונים מסודרים בשורות. רקמת הטבור בפרי מסומנת בעיגולים אדומים מקווקיים.

מטרה 4: השפעת סופרלון והטיפול המשקי במקסים, וכן שילוב בניהם, על היסדקות אורי

במהלך המחקר, ביצענו שלשה ניסויים בהם נבחן השימוש בסופרלון על היסדקות באורי. סופרלון הנו תמיסה משולבת של ציטוקנין סינתטי וג'יברלין A4+7, שפעילותו נגד היסדקות הוכחה בתפוח פינק ליידי וברימון. בשנתיים הראשונות, הניסויים בוצעו בדברת על רקע יבול יחסית נמוך, ובשנה השלישית בנען, על רקע יבול גבוה יחסית. בשנה הראשונה, סופרלון ניתן בריסוס בשלושה ריכוזים, כאשר כל ריכוז ניתן שלוש פעמים במרווחים של שבועיים, החל מסוף פריחה. בנוסף, ניתן הטיפול המשקי במקסים (אוקסין סינטטי, 3,5-TPA) על חנטים בגודל 30 מ"מ, טיפול ידוע להפחתת היסדקות בנובה. טיפול אחר כלל שילוב של מקסים עם ג'יברלין GA3, מאחר וריסוס בג'יברלין בשיא פריחה (כדי לעודד חנטה), נמצא כמגביר היסדקות. הטיפול המשולב אמור להראות האם מקסים מפחית את האפקט השלילי של GA3. בביקורת לא מטופלת, היבול (מספר פירות וק"ג לעץ) היה הנמוך ביותר (איור 23). לסופרלון הייתה השפעה מטיבה על היבול, אשר עלה עם ריכוז החומר. גם הטיפול המשקי במקסים הראה העלאה ביבול, כאשר תוספת הג'יברלין העלתה גם היא יבול לעומת הביקורת, והטיפול במקסים לבד. הטיפול המשקי במקסים 0.3% על חנטים בגודל 30 מ"מ

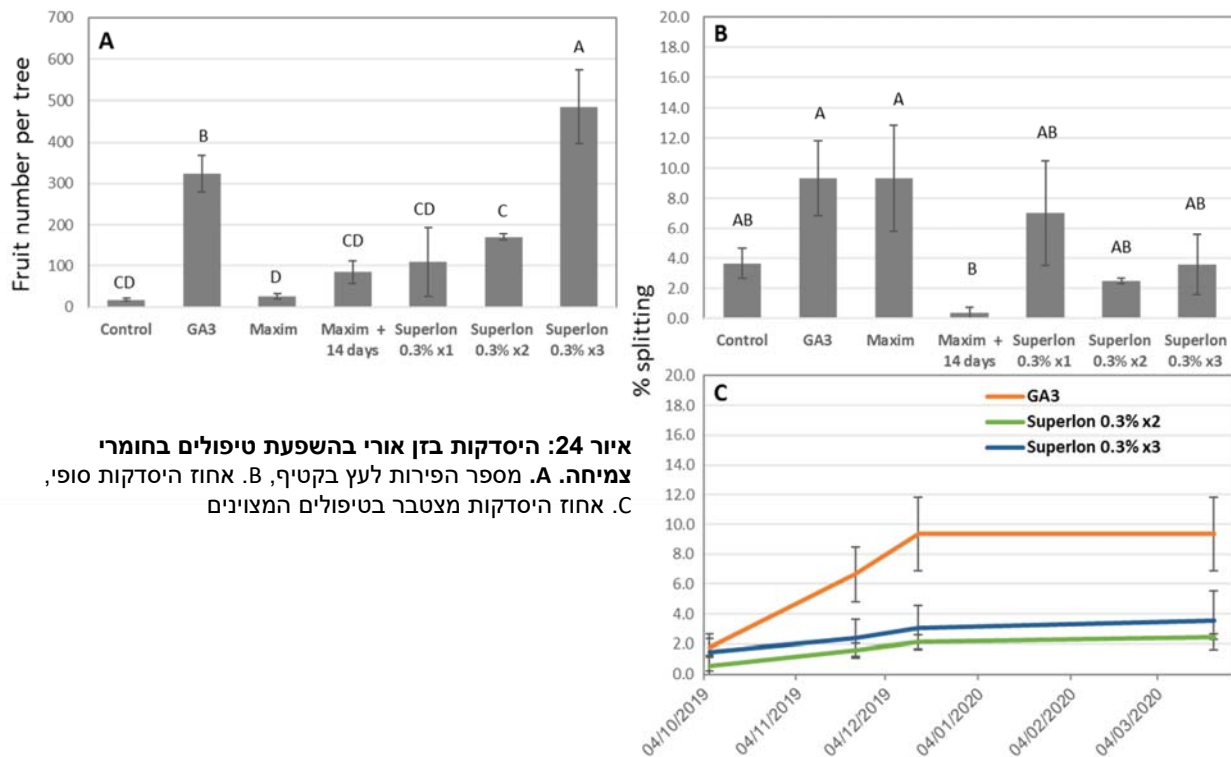
היה היעיל ביותר בהפחתת רמת ההיסדקות. העלאת היבול שווה להורדת ההיסדקות שהוא משרה. ג'יברלין מבטל השפעת המקסים ולכן כנראה תורם להיסדקות (38% לעומת 50% בביקורת ללא הבדל מובהק), אבל בגלל שיש לו השפעה מטיבה על החנטה, סה"כ ההשפעה שלו על היבול הנה חיובית. לסיכום, סופרלון תרם להעלאת מספר פירות (פי כמעט 5 מהביקורת), והפחתת היסדקות (כמחצית מהביקורת), כלומר עיקר השפעתו הייתה בהעלאת יבול ללא קשר להיסדקות.



איור 23: נתוני יבול והיסדקות בזן אורי בהשפעת טיפולים שונים. יבול לעץ (ק"ג), מספר פירות) ומשקל פרי ממוצע, מוצגים אחוז היסדקות (איור למטה) בטיפולים השונים. מספרי הטיפולים מפורטים בטבלה המצורפת באיור.

לאור תוצאות השנה הראשונה, בשנה השנייה, חזרנו על טיפול בריכוז הגבוה, 0.3%, והוא ניתן במועד אחד, שניים או שלשה. בנוסף, הוספנו לאח שבועיים ריסוס נוסף בטיפול המשקי, מקסים על חנטים בגודל 30 מ"מ. בנוסף, הוספנו טיפול בג'יברלין בשיא פריחה ע"מ לאשש השפעתו כמגביר היסדקות. בגלל הגשמים המרובים, קטיף האורי בחלקה התעכב מאוד. במועד הקטיף היה סגר קורונה, ולנוכח מגבלות כוח האדם, לא יכולנו לבצע קטיף מסודר עם שקילת הפרי, ספירתו וחישוב גודל פרי ממוצע. בוצעה רק ספירת פירות על העצים, מה שפגם במידה מסוימת באיכות התוצאות.

למרות פריחה חזקה, הייתה הפחתה מאוד משמעותית ביבול, ובביקורת נספרות במוצע פחות מ-20 פירות לעץ (איור 24A). כצפוי, מתן ג'יברלין בשיא פריחה שיפר חנטה, והביא להעלאה משמעותית במספר הפירות, כ-300 לעץ. למעט המקסים במועד הראשון, הטיפולים הביאו להעלאה ביבולים לעומת עצים לא מטופלים, כאשר סופרלון שרוסס בשלשה המועדים הביא לתוצאה מובהקת והטובה ביותר, כמעט 500 פירות לעץ (איור 24A). לנוכח מספר הפירות הנמוך לעץ בעצי הביקורת, יש להתייחס בחשדנות לאחוז ההיסדקות בעצי הביקורת ובעצים שטופלו במקסים פעם אחת, שכן כל פרי סדוק משפיע באופן ניכר על התוצאות (איור 24B,C). לפיכך, אנו סבורים שנכון להתייחס לטיפול הג'יברלין כטיפול הביקורת, ולכן טיפול הביקורת אינו מופיע באיור 24C. בנוסף למספר פירות נמוך בעצי הביקורת, אחוז ההיסדקות השנה היה נמוך יחסית לשנים קודמות, פחות מ-10%, מה שפוגע במציאת שינוי מובהק בין הטיפולים. רק עבור טיפול כפול של מקסים התקבלה הפחתה משמעותית באחוז ההיסדקות (24B). שאר הטיפולים לא הראו הבדלים מובהקים

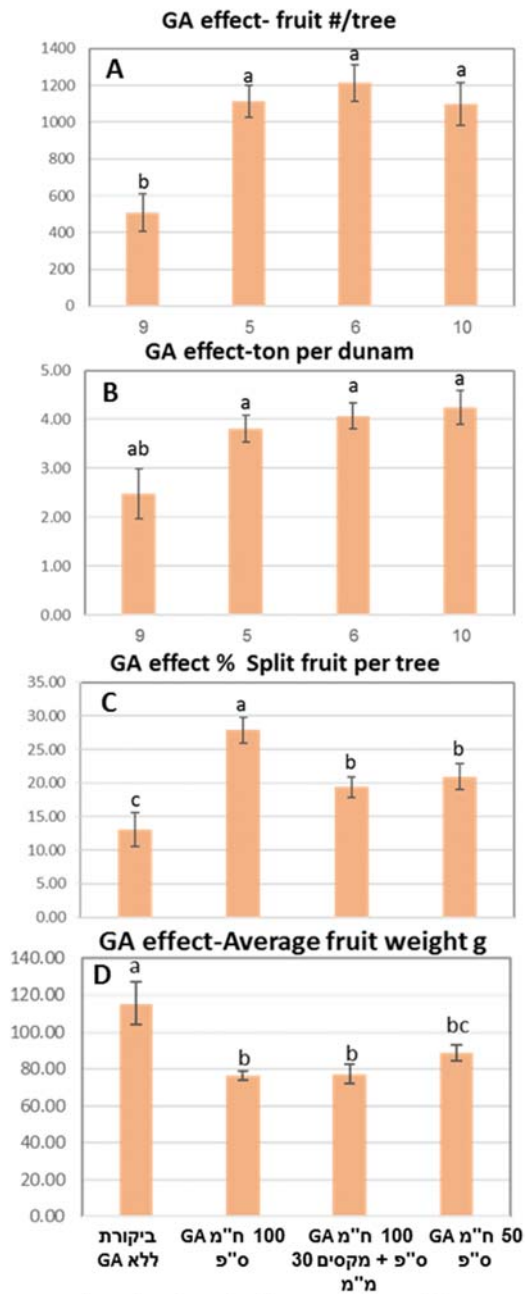


זה מזה, אולם, נראה שבדומה לשנה שעברה, טיפול הסופרלון, במיוחד שניים ושלושה ריסוסים הביאו להפחתה של פי 3-4 באחוז ההיסדקות, בהשוואה לטיפולים שעודדו היסדקות GA3- והטיפול המשקי עם ריסוס אחד של מקסים.

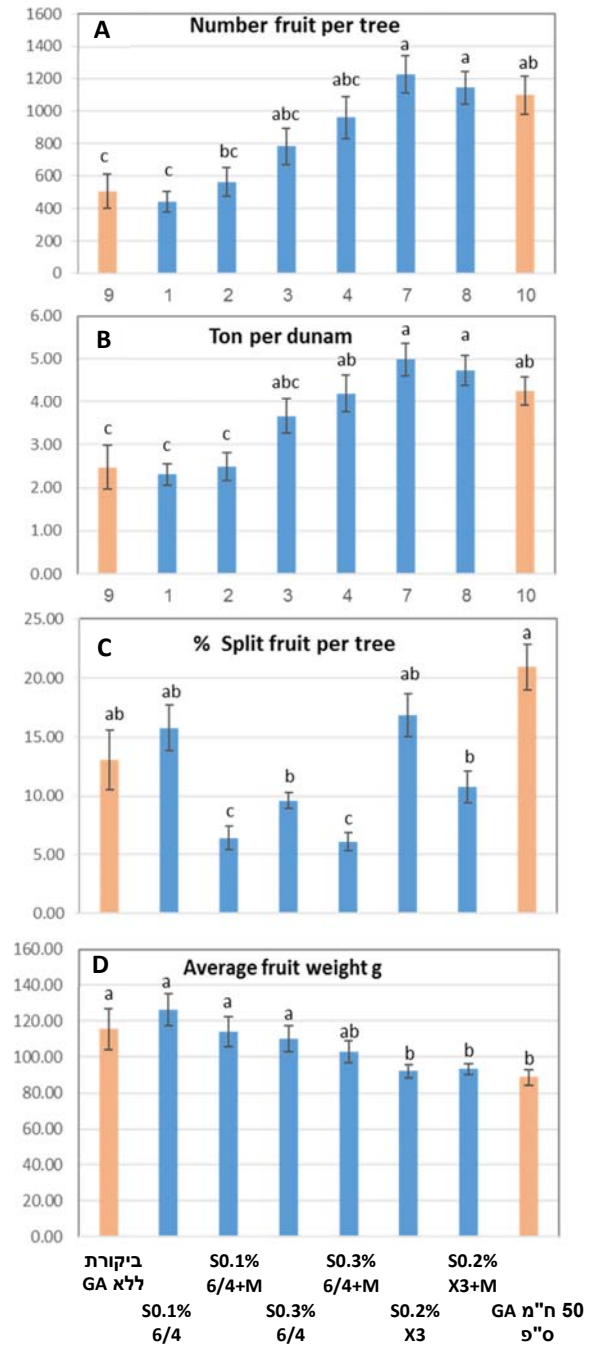
כאמור, שני הניסויים הנ"ל נערכו על רקע יבול נמוך, ולכן בשנה השלישית ביצענו ניסוי בקיבוץ נען, בחלקה בה היסטורית היבולים ידועה, ויבול שנת הניסוי צפוי היה להיות גבוה. במסגרת הניסוי בחנו השפעת הסופרלון גם בריסוס מוקדם (בשני ריכוזים) וגם על רקע של הטיפול המשקי במקסים. בנוסף, בחנו גם השפעת ג'יברלין, בשני ריכוזים, בכדי לאשש השפעתו השלילית על מספר הפירות הסדוקים לעומת השפעתו החיובית על אחוז החנטה. מהלך הניסוי מוצג באיור מס' 25.



איור 25: סכמה של הטיפולים בניסוי השנה השלישית, השפעת סופרלון וג'יברלין על היסדקות באורי.



איור 26: השפעת טיפול בג'יברלין על יבול והיסדקות בזן אורי. השפעת הטיפולם בג'יברלין (GA) עם וללא מקסים בריכוזים המצוינים כאשר הוא ניתן בשיא פריחה (ש"פ). A. מספר פירות לעץ, B. יבול בטון פר דונם, C. אחוז היסדקות סופית, D. משקל פרי ממוצע



איור 27: השפעת טיפול בסופרלון על יבול והיסדקות בזן אורי. השפעת הטיפולם בג'יברלין (GA), סופרלון (S) בריכוזים המצוינים. עם מקסים (+M). הטיפולים המוקדמים ניתנו בתאריך 6/4-6, ושאר הטיפולים כמתואר באיור מס' 20. A. מספר פירות לעץ, B. יבול בטון פר דונם, C. אחוז היסדקות סופי, D. משקל פרי ממוצע

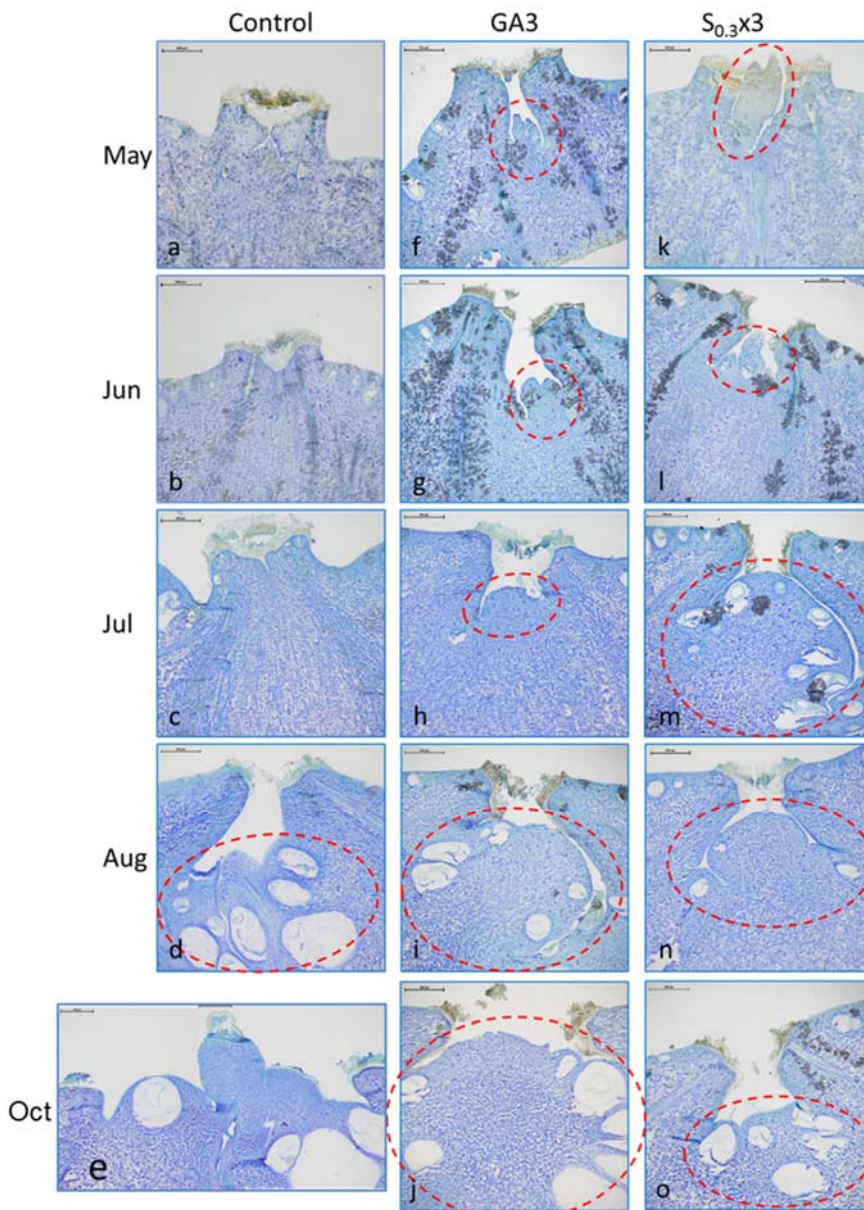
למען הפשטות, אנו מציגים השפעת הג'יברלין בנפרד מהשפעת הסופרלון. טיפול ב-50 ח"מ (הטיפול המשקי) ו-100 ח"מ העלו את מספר הפירות לעץ באופן מובהק (איור 26A), אם כי לא הייתה מובהקות בטון לדונם (איור 26B). ריסוס ב-100 ח"מ הביא ל-25% היסדקות, לעומת כ-12% בביקורת (איור 26C). תוצאות אלו תומכת בתוצאות השנים

הקודמות שהראו כי GA3 משפר חנטה ומצד שני מעלה היסדקות. טיפול משולב של מקסים עם ה GA3 הפחית את רמת ההיסדקות ל-20%, אולם שעור ההיסדקות היה עדיין גבוה באופן מובהק מהביקורת (איור 26C). כצפוי, בביקורת ללא ג'יברלין עם היבול הנמוך ביותר, התקבל הפרי הגדול ביותר (איור 27D). שאר הטיפולים לא נבדלו זה מזה בגודל הפרי, וההבדלים בין אחוז ההיסדקות בין טיפול ב 100 ח"מ גיברלין לטיפול זהה שכלל גם מקסים, מראה שלא גודל הפרי השפיע על ההיסדקות. בחינה של טיפולי הסופרלון (איור 27) הריסוס המוקדם ב- 0.1% סופרלון לא הביא להעלאת היבול (איור 27A, B) או להפחתת ההיסדקות (איור 27C) לעומת עצי הביקורת (הפחתת היסדקות נצפתה רק כאשר הוסף לטיפול ריסוס במקסים). ריסוס מוקדם ב-0.3% הביא להעלאת היבול, אולם לא באופן מובהק לעומת עצי הביקורת (איור 27A, B). הטיפול הביא להפחתה באחוז ההיסדקות בשיעור של 2-4% בלבד (איור 27C). כמו בשנים הקודמות, שלשה ריסוסים החל מהמחצית השנייה של הפריחה בריכוז 0.2% הביא להעלאת משמעותית ביבול (מספר פירות וטון לדונם), פי 2 מאשר בביקורת, אולם ללא כל יתרון לעומת הטיפול המשקי בג'יברלין. הממצא המאכזב היה שבניגוד לשנים הקודמות, השנה הטיפול לא הפחית את ההיסדקות לעומת עצי ביקורת. יתכן והורדת הריכוז ל-0.2% הייתה משמעותית מבחינת יעילות החומר. נראה כי הייתה התאמה בין גודל היבול למשקל הפרי

הממוצע (איור 27D), אולם גם מטיפולים אלו ניכר שאחוז ההיסדקות אינו קשור למשקל הפרי (לדוגמה, שלשת הטיפולים הימניים בגרף).

השפעת מווסתי צמיחה על אנטומיית הקליפה באזור הפיטם

אנליזה היסטולוגית דומה לזו שתוארה בתמונות 1 ו- 2, נערכה בזן אורי שטופל במווסתי צמיחה המשרים או מפחיתים אירועי היסדקות בפיטם, במטרה לבחון האם הטיפולים השרו שינויים במבנה הפיטם במתאם לזה שנמצא עבור הזנים הרגישים או עמידים להיסדקות. הטיפולים: (1) שלושה ריסוסים של 0.3% תכשיר סופרלון, שנמצא בניסויים מקדימים כמפחית היסדקות, (2) ריסוס ב 50ppm GA3 שנמצא בניסויים המקדימים



כמגביר היסדקות, ו- (3) ביקורת. עבור כל טיפול נאספו פירות במהלך התפתחות הפרי בפרדס, במועדים של 180, 120, 60, 30 ימים משיא פריחה (מסומנים בתמונה 3 בשם חודשי הדיגום), ונלקחו דגימות קליפה כמתואר בניסוי הזנים גם קיבוע הדגימות והכנת החתכים, בדומה לניסוי הזנים.

בביקורת הלא מטופלת הפיטם היה "סגור" עד יולי (תמונה 3a-c) וניתן היה להבחין ברקמת הטבור רק באוגוסט (תמונה 3d). לעומת זאת, בשני הטיפולים ניתן היה להבחין ברקמת הטבור כבר מחודש מאי (תמונה 3f, k), אם כי נראו הבדלים בין הטיפולים – בטיפול בג'יברלון רקמת הטבור הייתה ממוקמת בבסיס חלל הפיטם (תמונה 3f, g), ובטיפול הסופרלון, חלל הפיטם נראה מצומצם יותר ורקמת הטבור תפסה חלק נכבד בו (תמונה 3k, l). בחודש יולי, רקמת הטבור בטיפול הסופרלון הייתה המפותחת ביותר בהשוואה לג'יברלון (תמונה 3m), אולם ממועד זה והלאה, התפתחותה הייתה מרוסנת, ורקמת הפיטם מטיפול הג'יברלון גדלה באופן משמעותי עם לוזי שמן מרובים ומפותחים (תמונה 3i, j). כפי שנאמר, בביקורת רקמת הפיטם נצפית החל מאוגוסט, אולם היא מתפתחת במהירות ובאוקטובר היא פורצת דרך מפתח הפיטם (תמונה 3e). יש לשים לב כי בביקורת הלא מטופלת, רקמת הטבור גדולה מאד יותר מהטיפולים, אולם היא ממוקמת סמוך לפני שטח הפרי ונראית כמאוּחה אל הקליפה החיצונית. **לסיכום**, נראה כי פירות עם חלל פיטם מצומצם ורקמת טבור הממוקמת סמוך לפני הקליפה, רגישים פחות לסידוקים (טיפול סופרלון, ובאופן חלקי הביקורת), בעוד שחלל פיטם גדול, ורקמת טבור מפותחת הממוקמת בעומק חלל הפיטם מקנים רגישות להיסדקות (טיפול בג'יברלון). תפקיד לוזי השמן בהקשר של ההיסדקות אינו ברור, אם כי הם מרובים ומפותחים מאד ברקמות הרגישות להיסדקות (טיפול ג'יברלון וביקורת).

6. דיון

בניית מודל אקלימי-סביבתי

מחקרים שנעשו לאחרונה הראו כי היסדקות פרי בהדרים נגרמת לא רק מגורמים גנטיים אלא גם מגורמים סביבתיים (Cronje *et al.*, 2013). במחקר זה פיתחנו מודל לומד המבוסס על מסד נתונים נרחב לייצוג הגורמים המשפיעים על תופעת היסדקות פרי בהדרים. המודל שפותח מציע כלי לניהול ולהבנה מעמיקה יותר של התופעה בקנה מידה רחב, ארצי. למיטב ידיעתנו, מחקר בסדר גודל כזה לא מופיע בספרות המקצועית. מעבר לעמידה בכלל יעדי המחקר, במחקר זה הוספנו נדבכים נוספים, כולל הגדלת היקף החלקות הנדגמות בצורה משמעותית בכדי לחזק את טיב המודל. נלקחו בחשבון מספר רב של מדדים מסבירים של עוצמת התופעה הכוללים: (1) מאפיינים גנטיים (זנים בעלי רמת עמידות שונה להיסדקות), (2) מאפיינים אקלימיים שכללו נתונים לוויינים יומיים תוך התייחסות לסדרות זמן של טמפרטורה, קרינה ולחות, שנבדקו במשך שלש עונות המחקר, ומהם פיתחנו מספר רב של מדדים מסבירים לבחינת התופעה. (3) מדדים טופוגרפיים שכללו את הגובה שיפוע ומפנה, וכן מאפייני סוג הקרקע. (4) מדדים ממשקיים שכללו התייחסות לגיל העצים, טיפולי ריסוס, השקיה ואיכות מים, הכנה ועוד. כלל המדדים הללו נכנסו למודל חוזה למיין (מודל על בסיס מידע קטגוריאלי של רמת היסדקות גבוהה, בינונית ונמוכה) ומודל רגרסיה (על בסיס נתונים רציפים) לבחינת תופעת ההיסדקות בקנה מידה ארצי.

למרות השונות הגדולה במסדי הנתונים, והצורך בהנחת הנחות בפיתוח המודלים, שני המודלים, המיין והרגרסיה, הראו יכולת חיזוי גבוהה יחסית. מודל המיין הראה כי החיזוי הטוב ביותר נעשה ע"י XGBOOST עם רמת דיוק של 0.76 (0.04). מודל הרגרסיה אף הראה רמת דיוק גבוהה יותר, כאשר השילוב של המודלים Random Forest, XGBoost, Gradient Boosting Machine, Generalized Linear Model הראה יכולת חיזוי גבוהה ($R^2=0.87$; $RMSE=3.26$). בשני המודלים הקושי היה בהפרדה של ערכי ההיסדקות הגבוהים אשר מייצגם מספר קטן יחסית של חלקות מסך כל

האוקולוסייה שנבדקה. בשני המודלים הגורמים המסבירים היו דומים, והציגו כי השפעה של הזן כפרמטר המשמעותי ביותר בקביעת רמת ההיסדקות. בעוד שפרמטר הזן מוכר וידוע, הגורמים הבאים האחרים אינם מוכרים. הגורמים הבאים, העשירון הרביעי של הטמפרטורה, גיל העצים, לחות וקרניה, נמצאו כמדדים משמעותיים המשפיעים על חיזוי המודל. המשמעות של תוצאות המודל היא שלמדדי האקלים, בעיקר לטמפרטורה, השפעה מכרעת על תופעת היסדקות הפרי. שינוי האקלים בכלל ועליית הטמפרטורה בפרט בשנים הקרובות צפויים לפיכך להשפיע באופן משמעותי על תופעת היסדקות הפרי, ויתכן וזנים נוספים יהפכו להיות לא כלכליים בעתיד (Haokip *et al.*, 2020). אכן, הזן נובה נעקר באופן משמעותי ביותר לפני תקופת המחקר, ובמהלכה, בעיקר בגלל בעיית היסדקות אשר פגעה בפוריות והפכה אותו ללא רווחי. בנוסף, זנים שבעבר לא היו רגישים לתופעת היסדקות עשויים להראות רגישות לתופעה בשיעור נמוך יחסית. מאוד יתכן שהמגמות הצפויות של עליית הטמפרטורה והגברת בתדירות אירועי הקיצון ישפיעו גם על זנים אלו בעתיד הקרוב ובינוני. מחקרים מראים כי קצב גידול הפירות הנו בעל מתאם חיובי לערכי השונות היומיים בטמפרטורה (Li, 2009). הטמפרטורות הגבוהות והנמוכות ביותר בפברואר נמצאו כמדד שהשפיע את קצב היסדקות הפרי בהדרים (Juan and Jiezhong, 2017). כמו כן נמצא כי טמפרטורת הקיץ קשורה קשר הדוק להופעתם של פירות סדוקים (Treeby *et al.*, 2000). כמה מחקרים מצאו גם כי היסדקות פרי הדר הושפעה מהטמפרטורות הגבוהות והנמוכות ביותר, אך לא הושפעה מהטמפרטורה הממוצעת (Juan and Jiezhong, 2017). המחקר הנוכחי מחזק טענה זאת ומראה כי האחוזון 40 של טמפרטורה מהווה מדד חשוב לזיהוי תופעת היסדקות בעיקר בין החודשים מאי עד אוגוסט, המהווים שלב משמעותי בהתפתחות הפרי. כמו כן, נמצא כי ללחות יש השפעה על תופעת היסדקות בעיקר בתקופות יוני-יולי וכן בספט-אוק'. בסעיף הבא, הדר בנושא ההשקיה, עניין זה נידון בהרחבה.

בנוסף, במחקר זה עלו מספר גורמים נוספים המשפיעים על תופעת היסדקות הכוללים השפעה של גיל העצים בחלקה, וכן הכנה. במחקר זה מצאנו שלכנה וולקיריאנה השפעה משמעותית על עיכוב היסדקות. מחקרים קודמים הראו שלכנה יש השפעה על תופעת היסדקות באופן עקיף. אותו הזן המורכב על כנות שונות הציג עמידות שונה לפגמי קליפה, קמטת והיסדקות (Treeby *et al.*, 1995, 2000, 2007). הדבר אינו מפתיע שכן לכנות שונות יש השפעות על תנאי ההזנה של העצים ועל איכות הפירות, ולכן גם השפעה על התפתחות היסדקות הפרי. בנוסף לכך, קצב גידול הפרי תלוי גם הוא בסוג הכנה (Agusti *et al.*, 2003). לכן, לבחירת הכנה המתאימה יש משמעות חשובה גם להפחתת היסדקות פרי בהדרים. גיל העץ נמצא כאחד המדדים החשובים המשפיע על תופעת היסדקות הפרי. במחקרים קודמים הייתה התייחסות מצומצמת למדד זה, והדגש הושם על הקשר בין גודל העץ, עומס הפרי ותופעת היסדקות פירות. לגודל הפרי יש גם השפעה על היסדקות פרי הדר. ככל שהפרי גדול יותר סביר יותר שיחווה את תופעת היסדקות (García-Luis *et al.*, 2001) (כהן וחוב', 1990A).

לסיכום, עיקרי הממצאים מראים כי לגנטיקה השפעה מכרעת על רגישות הפרי להיסדקות, לכן בחירת זנים ופיתוח עתידי של זנים עמידים להיסדקות הינו אחד הכלים להתמודדות עם התופעה. במקביל בחירת כנה מתאימה יכול לצמצם את התופעה. כמו כן, לאקלים, ובמיוחד הטמפרטורה, השפעה מכרעת על היסדקות פרי. לפיכך, שינוי האקלים יחד עם עליית הטמפרטורות צפוי להגביר רגישות ההדרים לתופעה זאת. פעולות ממשקיות כגון, השקיה מבוקרת, טיפולים מונעים של חגור אביבי או ריסוס הורמונלי יכולים לסייע בצמצום התופעה. המודל שפותח כאן, יכול להוות כלי ניהולי ברמה השנתית לחיזוי חלקות בעלות רגישות לתופעת היסדקות והגורמים האחראים לכך. אילו יכולים לשמש ככלי מכוון לניהול מוצלח יותר ברמה האזורית ואף ברמת החלקה הבודדת.

השקיה והיסדקות

עפ"י ניסוי אחד בעל הצלחה חלקית בזן נובה, ושני ניסויים יחסית מוצלחים בזן אורי, המחקר תומך ברעיון שאפשר להפחית היסדקות ע"י הפחתת השקיה מבלי לפגוע ביבול וגודל הפרי. אולם נדרש מחקר נוסף ע"מ להגיע לפרוטוקול

מסודר, כפי הנראה תלוי בזן, ובתנאים מקומיים. בשנה הראשונה, בזן נובה, התברר כי הפחתת השקיה ל-50% מהכמות המשקית לא הייתה עדיפה על הפחתת השקיה ל-75% מהכמות המשקית, כאשר אלו בוצעו במהלך חודש יולי. הפחתות השקיה אלו הביאו להפחתה בשיעור הפרי הסדוק, אולם רק בתחילת העונה, כאשר בהמשך השיעור השתווה לזה של עצי הביקורת. באורי, הפחתת השקיה מאוחרת, במהלך ספטמבר ואוקטובר, הביאה להקטנת שיעור ההיסדקות (אם כי ההיסדקות בשנה זו הייתה יחסית נמוכה). למרות שהתכנון בשנה השלישית השתבש בגלל בעיות במערכת, עדיין ניתן להגיע למסקנה כי הפחתת השקיה בתחילת העונה בזן אורי הנה האפקטיבית מבחינת השפעתה על שיעור ההיסדקות. עפ"י הנטען בספרות, השקיה תקופה עדיפה על השקיה בתדירות יותר נמוכה, מאחר והיא מפחיתה כמויות מים הזורמות לפרי, ולכן את סיכויי להיסדק (Mesejo et al., 2016). זה היה התכנון בשנה השלישית, אבל לנוכח הביצוע הבעייתי, קשה היה להוכיח נקודה זו, גם אם היא נראית הגיונית, ואף מתיישבת עם נתוני חיישני הפרי משלש שנות איסוף נתונים (כמפורט להלן). המודל האקלימי מראה כי שינויים בלחות היחסית, במיוחד בחודשים יוני-יולי וספטמבר-אוקטובר, מצויים בהתאמה להיסדקות. יתכן ומחקר עתידי צריך לבחון את הקשר בין לחות וטמפרטורה על ידי מדד VPD (vapor pressure deficit) לתופעת היסדקות פרי. ערך ה-VPD הוא מדד מקיף של טמפרטורה ולחות יחסית. כאשר ה-VPD יורד בחדות, קצב היסדקות הפירות עולה גם הוא בחדות (Li, 2009). תופעה זו קשורה לעיכוב הטרנספירציה, הגורם להזרמת כמות גדולה של מים לפרי. שינוי פתאומי בלחות היחסית בתקופת גדילת הפירות יביא גם לתופעת היסדקות פירות (Gonzalez-Altozano and Castel, 1999). עם העלייה במתח המים בתקופת ההתפתחות המאוחרת של הפירות, פעילות ההידראולית קשורה למטבוליזם של דופן התא גדלה, וזו גורמת לשינויים במבנה דופן התא והתרופפות התאים, ובכך להיסדקות פרי (Li, 2009). מחקר אחר הראה כי אספקת מים לא סדירה או גבוהה בחודשים ספטמבר ואוקטובר השפיעה על גודל הפירות והגדילה את שכיחות היסדקות הפירות (Gonzalez-Altozano and Castel, 1999). מעבר להשפעתם על התפתחות הפרי, מים משפיעים גם על ספיגת יסודות מינרליים; להשקיה לא סדירה יש השפעות מעכבות משמעותיות על ספיגת הסיידן, הבורון והברזל, מינרלים אשר הוצע להם קשר להיסדקות (Opara et al., 1996; Cronje et al., 2013; Juan and Jiezhong, 2017). לכן, ניהול השקיה תקין יכול להיות אמצעי יעיל להפחתת קצב היסדקות הפירות, גם באופן ישיר וגם באופן עקיף. שימוש בחיישני גזע ופרי אפקטיבי ביותר מבחינת ההבנה שהוא מעניק לגבי יחסי המים בעץ, ולפיכך השפעתם על ההיסדקות. ניתן היה להסביר בעזרתם את הנתונים החריגים בניסוי ההשקיה בזן נובה בשנה השנייה (כמפורט בדו"ח השנה השנייה). למשל, נתוני התכווצות וגידול גזע היו מצויים בהתאמה להפחתת ההשקיה שבוצעה בתקופות שונות של העונה. הצענו כי משרעת התפלגות התכווצות וגידול הגזע מצויה בהתאמה לאחוז ההיסדקות.

הניתוח התלת שנתי שביצענו השנה, ומופיע בדו"ח הנוכחי, מראה כי יש קשר הפוך בין התכווצות יומית מקסימלית של הגזע (MDS) לשיעור ההיסדקות; כלומר, ככל שהעץ חווה יותר מחסור במים וההתכווצות גדלות, כך שיעור ההיסדקות יורד. תמונת השינויים היומיים בנפח הפרי מציגה תמונה הפוכה; ככל שהפרי חווה יותר שינויים בנפחו, כך שיעור ההיסדקות עולה. לכאורה הנתונים סותרים, כי דווקא הפחתת השקיה צפויה הייתה להגביר קצב שינויים יומיים בנפח הפרי. מאוד יתכן כי הנחה זו שגויה, ובעצם דווקא השקיה מוגברת מגדילה קצב ועצמת השינויים היומיים בנפח הפרי, ואלו מגבירים היסדקות.

השפעת הורמונים על היסדקות

הגברת היסדקות בנובה ע"י ג'יברלין המיושם בשיא פריחה תוארה בספרות, בעוד שאוקסין הניתן לחנטים בסוף שלב I מוריד אחוז היסדקות (García-Luis et al., 1994, 2001). הוצע כי ההורמונים משפיעים על צורת הפרי- בעוד שג'יברלין מביא לפירות אובלטיים, הנסדקים יותר, אוקסין מביא ליצירת פירות עגולים, הנסדקים פחות. טיפול באוקסין ובציטוקינין הוכח כמפחית היסדקות גם בתפוח (Opara et al., 1996). ציטוקינין ידוע כמעודד חלוקות תא בעוד שאוקסין

וגי'ברלין מעודדים התרחבות תאים (Ubeda-Tomás *et al.*, 2009; Schaller *et al.*, 2014). בהתאם, ההנחה היא שטיפולים אלה מחזקים את עמידות הקליפה ע"י הגדלת צפיפות תאי האפידרמיס ועובי הקוטיקולה (Ginzberg *et al.*, 2014; Fogelman *et al.*, 2014). בענבים, גי'ברלין משמש להגדלת הגרגר ולכן גם בשימוש מוגזם מגביר את הנטייה להיסדקות (Zoffoli *et al.*, 2009). לעומת זאת יישום של גי'ברלין בחנטה על ענבים בעלי חרצנים (שאינם מושפעים ברמת גודל הגרגר) הראה הפחתה בשיעור הסדקים (Lichter *et al.*, 2016). סופרלון מכיל ציטוקינין, אבל שני גי'ברלינים, GA₇-ו-GA₄ אשר אינם נחשבים לאלו הפעילים בהדרים. למרות זאת, יתכן והם הופכים לתרכובת פעילה. כאמור, החומר מגביר חלוקות תאים, והוכח כמפחית היסדקות בתפוח פינק ליידי, רימון ואפרסמון (Stern *et al.*, 2014; Fogelman *et al.*, 2014; Ginzberg *et al.*, 2014; al., 2013; גינזברג וחוב'. לא מפורסם). התוצאות שלנו הראו כי סופרלון אכן מגדיל עובי קליפה (מופיע בדוח השנה השנייה), אם כי לא בחנו לעומק איזו שכבת תאים מושפעת מהטיפול. בעוד שבשנה הראשונה והשנייה השפעתו על הפחתת היסדקות הייתה ניכרת, בשנה השלישית הטיפול לא הפחית היסדקות. מאוד יתכן שהדבר נובע ממספר הפירות לעץ. כאשר המספר נמוך, הפרי גדול יותר, ופרי גדול יותר נוטה להיסדקות (כהן וחוב' 1990A,B). כאשר מספר הפירות גבוה, כמו בשנה השלישית, הפרי קטן יותר ואז השפעת החומר אינה ניכרת.

תופעה נוספת שנבעה משימוש בו בשנה הראשונה, הייתה אפקט ברור של הגדלת מספר הפירות. בשנה השנייה, האפקט לא היה ברור בגלל המספר הנמוך של פרי הביקורת. בשנה השלישית הטיפול המוקדם בריכוז 0.3% הביא להעלאה של מספר הפירות, כאשר האפקט היה ניכר יותר בריסוסים המאוחרים. אולם, הטיפול לא היה עדיף על ריסוס בגי'ברלין, שהוא טיפול זול בהרבה.

התאמה בין מבנה הפיטם ועומקו להיסדקות

הקשר בין מבנה רקמת הטבור לבין היסדקות בזן נובה הודגם בעבודות של הקבוצה הספרדית (García-Luis *et al.*, 2001, 1994). בעוד שמריסטמת הפרח מסיימת, בזנים בעלי פיטם המריסטמה אינה מסיימת, ויש גידול נוסף שלה לכיוון עמוד העלי, אשר לרוב נשבר לאחר ההפריה. הטענה הנה שבזנים נסדקים יש חלל מתחת לנקודת השבירה של העילי (חלל הפיטם), אליו גדלה המריסטמה (רקמת הטבור). בעבודה הנוכחית עשינו השוואה בין הזן נובה בעל הפיטם ורגיש להיסדקות לבין הזן אודם, גם הוא בעל פיטם, אולם לרוב "עמיד" להיסדקות. הזן אורי נסדק ברמה משתנה בין השנים, ולא תמיד מופיע בו פיטם. האנליזה האנטומית של הזנים הנבדלים ברגישותם להיסדקות, וזו שעשתה שימוש במוסטי צמיחה כדי להשרות או לעכב התפתחות סדקים, מציעות קשר בין מבנה הפיטם ורקמת הטבור להיסדקות. בזן אודם שהינו עמיד לסדקים, חלל הפיטם "שטוח" יחסית לזה של נובה ואורי הרגישים להיסדקות, ורקמת הטבור בו קרובה יותר לפני שטח הקליפה. בדומה, יישום סופרלון (מפחית סדקים) על הזן אורי השרה רקמת טבור פחות מפותחת מזו של הביקורת ומזו שטופלה בגי'ברלין, ובדומה למה שנצפה באודם חלל הפיטם אינו "עמוק" ורקמת הטבור קרובה למפתח שלו. ניתן להציע כי רקמת טבור מפותחת והמצויה בעומק חלל הפיטם, מפעילה לחץ מלמטה כלפי מעלה, ובכך מחלישה את הקליפה, ומעלה את רגישותה להיסדקות. כלל התוצאות קושרות בין הרגישות להיסדקות לגודל ומיקום רקמת הטבור בחלל הפיטם; אם רקמת הטבור קרובה לפני שטח הקליפה, ו"סוגרת" את חלל הפיטם, הסיכוי להיווצרות היסדקות נמוך יותר מאשר טבור עמוק, אשר משאיר חלל גדול יחסית.

7. ספרות

Agusti M, Almela V, Juan M, Mesejo C, Martinez-Fuentes A. 2003. Rootstock influence on the incidence of rind breakdown in 'Navelate' sweet orange. The journal of horticultural science and biotechnology **78**, 554–

558.

Blum, M, Lensky IM, Nestel D. 2013. Estimation of olive grove canopy temperature from MODIS thermal imagery is more accurate than interpolation from meteorological stations. *Agricultural and Forest Meteorology*, **176**, 90-93.

Cronje PJR, Stander OPJ, Theron KI. 2013. Fruit splitting in citrus. *Horticultural Reviews* **41**, 177–200.

Fogelman E, Stern R, Ginzberg I. 2014. Benzyladenine and gibberellin treatment of developing “Pink Lady” apples results in mature fruits with a thicker cuticle comprising clusters of epidermal cells. *Protoplasma* **252**.

García-Luis A, Duarte A, Kanduser M, Guardiola JL. 2001. The anatomy of the fruit in relation to the propensity of citrus species to split. *Scientia Horticulturae* **87**, 33–52.

García-Luis A, Duarte AMM, Porras I, García-Lidón A, Guardiola JL. 1994. Fruit splitting in ‘Nova’ hybrid mandarin in relation to the anatomy of the fruit and fruit set treatments. *Scientia Horticulturae* **57**, 215–231.

García-Luis A, Duarte AMM, Kanduser M, Guardiola JL. 2001. The anatomy of the fruit in relation to the propensity of citrus species to split. *Scientia Horticulturae* **87**, 33–52.

Ginzberg I, Fogelman E, Rosenthal L, Stern R. 2014. Maintenance of high epidermal cell density and reduced calyx-end cracking in developing ‘Pink Lady’ apples treated with a combination of cytokinin 6-benzyladenine and gibberellins A4+A7. *Scientia Horticulturae* **165**, 324–330.

Gonzalez-Altozano P, Castel JL. 1999. Effects of regulated deficit irrigation on 'clementina de nules' citrus trees growth, yield and fruit quality. III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 537.749–758.

Haokip SW, Shankar K, Lalringheta J. 2020. Climate change and its impact on fruit crops. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* **9**, 435–438.

Juan Li, Jiezhong C. 2017. Citrus fruit-cracking: causes and occurrence. *Horticultural Plant Journal* **3**, 255–260.

Li J. 2009. Cell wall metabolism and related gene isolation of pitting fruit peel in citrus. PhD Dissertations. South China Agricultural University, 1–130.

Lichter A, Kaplunov T, Zutahy Y, Lurie S. 2016. Unique techniques developed in Israel for short- and long-term storage of table grapes. *Israel Journal of Plant Sciences* **63**, 2–6.

Mesejo C, Reig C, Martínez-Fuentes A, Gambetta G, Gravina A, Agustí M. 2016. Tree water status influences fruit splitting in Citrus. *Scientia Horticulturae* **209**, 96–104.

Opara LU, Studman CJ, Banks NH. 1996. Fruit Skin Splitting and Cracking. *Horticultural Reviews*, 217–262.

Schaller GE, Street IH, Kieber JJ. 2014. Cytokinin and the cell cycle. *Current Opinion in Plant Biology* **21**, 7–15.

Shiff S, Helman D, Lensky IM. 2021. Worldwide continuous gap-filled MODIS land surface temperature dataset. *Scientific Data* **8**, 1–10.

Stern R, Ben-Arie R, Ginzberg I. 2013. Reducing the incidence of calyx cracking in ‘Pink Lady’ apple using a combination of cytokinin 6-benzyladenine and gibberellins (GA4+7). *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* **88**, 147–153.

Treeby MT, Henriod RE, Bevington KB, Milne DJ, Storey R. 2007. Irrigation management and rootstock effects on navel orange [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck] fruit quality. *Agricultural Water Management* **91**, 24–32.

Treeby MT, Milne DJ, Storey R, Bevington KB, Loveys BR, Hutton R. 2000. Creasing in Australia: causes and control.

Treeby MT, Storey R, Bevington KB. 1995. Rootstock, seasonal, and fruit size influences on the incidence and severity of albedo breakdown in Bellamy navel oranges. *Australian journal of experimental agriculture* **35**, 103–108.

Ubeda-Tomás S, Federici F, Casimiro I, Beemster GTS, Bhalerao R, Swarup R, Doerner P, Haseloff J, Bennett MJ. 2009. Gibberellin Signaling in the Endodermis Controls Arabidopsis Root Meristem Size. *Current Biology* **19**, 1194–1199.

Zoffoli J, Latorre B, Rodriguez J, Aguilera J. 2009. Biological indicators to estimate the prevalence of gray mold and hairline cracks on table grapes cv. Thompson Seedless after cold storage. *Postharvest Biology and Technology - POSTHARVEST BIOL TECHNOL* **52**, 126–133.

כהן א, ארנר י, לבון ר (1990A). היסדקות פרי במרוקו: התופעה וגורמיה. עלון הנוטע מ"ה, 76-71.

כהן א, ארנר י, לבון ר (1990B). תופעת היסדקות קליפת פרי המורקוט- ניסויים לצמצום מימדי התופעה. עלון הנוטע מ"ה:
141-148.

נספח מס' 1

טבלת הסבר לכלל הפרמטרים באיור מס' 2

(פירוט מלא לתהליך והפונקציות באמצעותן חולצו ערכי הגורמים המשפיעים השייכים למודל האקלימי המתחילים ב-lst, humidity או radiation, מופיעים ב- https://tsfresh.readthedocs.io/en/latest/api/tsfresh.feature_extraction.html)		
סוג	פירוט	גורם משפיע
גנטיקה	זן נובה	cultivar_Nova
אקלים	טמפ' - חלוקה לעשירונים - ובחירת עשירון 40%	lst_quantile_q_0.4
ממשק	גיל העצים	trees_age
אקלים	לחות - שינוי בטווח עשירונים - פונקציה צוברת של "שונות" - ערך מוחלט של הפרשי ערכי השינוי - מסדרון לבחינת השינוי בין 40%-ל-60%	humidity_change_quantiles_f_agg_"var"_isabs_True_qh_0.6_ql_0.4
אקלים	טמפ' - סטטיסטיקת c3 לבחינת ליניאריות - שימוש בהבדל זמן 3	lst_c3_lag_3
סביבה	שיפוע ופנות לכיוון צפון של החלקה	slope-aspect_northness
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - פונק' צבירה "מינימום" - על 5 ערכים רציפים - חילוף ערך החיתוך עם ציר Y של קו המגמה	lst_agg_linear_trend_f_agg_"min"_chunk_len_5_attr_"intercept"
אקלים	טמפ' - חלוקה לעשירונים - ובחירת עשירון 10%	lst_quantile_q_0.1
אקלים	טמפ' - סטטיסטיקת c3 לבחינת ליניאריות - שימוש בהבדל זמן 1	lst_c3_lag_1
סביבה	אחוז השיפוע של החלקה	slope_pct
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - פונק' צבירה "מינימום" - על 10 ערכים רציפים - חילוף ערך החיתוך עם ציר Y של קו המגמה	lst_agg_linear_trend_f_agg_"min"_chunk_len_10_attr_"intercept"
אקלים	לחות - מקדמי פורייה - מקדם 46 - חילוף הערך המוחלט	humidity_fft_coefficient_coeff_46_attr_"abs"
אקלים	טמפ' - חלוקה לעשירונים - ובחירת עשירון 30%	lst_quantile_q_0.3
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - פונק' צבירה "ממוצע" - על 50 ערכים רציפים - חילוף ערך החיתוך עם ציר Y של קו המגמה	lst_agg_linear_trend_f_agg_"mean"_chunk_len_50_attr_"intercept"
ממשק	מספר השקיות בשבוע	watering
ממשק	ריסוס ב-NAA	NAA_spray
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - פונק' צבירה "מינימום" - על 50 ערכים רציפים - חילוף ערך החיתוך עם ציר Y של קו המגמה	lst_agg_linear_trend_f_agg_"min"_chunk_len_50_attr_"intercept"
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית של כל הערכים - חילוף ערך החיתוך עם ציר Y של קו המגמה	lst_linear_trend_attr_"intercept"
סביבה	שיפוע ופנות לכיוון מזרח של החלקה	slope-aspect_eastness
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - פונק' צבירה "ממוצע" - על 5 ערכים רציפים - חילוף ערך החיתוך עם ציר Y של קו המגמה	lst_agg_linear_trend_f_agg_"mean"_chunk_len_5_attr_"intercept"

נספח מס' 2

טבלת הסבר לכלל הפרמטרים באיור מס' 7

(פירוט מלא לתהליך והפונקציות באמצעותן חולצו ערכי הגורמים המשפיעים השייכים למודל האקלימי המתחילים ב-lst, humidity או radiation, מופיעים ב- https://tsfresh.readthedocs.io/en/latest/api/tsfresh.feature_extraction.html		
סוג	פירוט	גורם משפיע
גנטיקה	זן, הערכים 0-אור, 1-נובה	cultivar
אקלים	טמפ' - חלוקה לעשירונים - ובחירת עשירון 40%	lst_quantile_q_0.4
ממשק	גיל העצים	trees_age
אקלים	טמפ' - חלוקה לעשירונים - ובחירת עשירון 30%	lst_quantile_q_0.3
אקלים	קרינה - מקדמי פורייה - חילוף הערך המוחלט - של מקדם 50	radiation_fft_coefficient_attr_"abs"_coeff_50
אקלים	טמפ' - ערך החציון (בחלוקה לעשירונים בחירת העשירון 50%)	lst_median
אקלים	קרינה - מקדמי פורייה - חילוף ערך הזווית - של מקדם 94	radiation_fft_coefficient_attr_"angle"_coeff_94
אקלים	קרינה - כפילות בערכי קרינה (כן/לא)	radiation_has_duplicate_max
אקלים	טמפ' - מקדמי פורייה - חילוף הערך הדימוני - של מקדם 77	lst_fft_coefficient_attr_"imag"_coeff_77
אקלים	לחות - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - חילוף ערך "השיפוע" - על בסיס צבירת 5 ערכים רציפים - וחישוב פונק' צוברת של "שונות"	humidity_agg_linear_trend_attr_"slope"_chunk_len_5_f_agg_"var"
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - חילוף ערך "חיתוך" עם ציר Y - על בסיס צבירת 5 ערכים רציפים - וחישוב פונק' צוברת של "מינימום"	lst_agg_linear_trend_attr_"intercept"_chunk_len_5_f_agg_"min"
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - חילוף ערך "חיתוך" עם ציר Y - על בסיס צבירת 5 ערכים רציפים - וחישוב פונק' צוברת של "ממוצע"	lst_agg_linear_trend_attr_"intercept"_chunk_len_5_f_agg_"mean"
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - חילוף ערך r^2 - על בסיס צבירת 50 ערכים רציפים - וחישוב פונק' צוברת של "ממוצע"	lst_agg_linear_trend_attr_"rvalue"_chunk_len_50_f_agg_"mean"
ממשק	חיגור אביבי (כן/לא)	girdling
אקלים	לחות - יחס ערכים יחודיים לסך הערכים (הפקטור יהיה 1 כאשר כל הערכים בסדרה ייחודיים)	humidity_ratio_value_number_to_time_series_length
אקלים	טמפ' - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - חילוף ערך "חיתוך" עם ציר Y - על בסיס צבירת 10 ערכים רציפים - וחישוב פונק' צוברת של "ממוצע"	lst_agg_linear_trend_attr_"intercept"_chunk_len_10_f_agg_"mean"
אקלים	לחות - מגמה ליניארית על בסיס צבירה - חילוף ערך r^2 - על בסיס צבירת 5 ערכים רציפים - וחישוב פונק' צוברת של "שונות"	humidity_agg_linear_trend_attr_"rvalue"_chunk_len_5_f_agg_"var"
ממשק	ריסוס במקסים (כן/לא)	MAX_spray
ממשק	כנה, הערכים 0- וולקימריאנה, 1-לאחרים	rootstock
אקלים	לחות - מקדמי פורייה - חילוף הערך המוחלט - של מקדם 99	humidity_fft_coefficient_attr_"abs"_coeff_99