

מפעלי רמת הנגב בע"מ

ד.ג. חלוצה 8551500

טל: 08-6557919 | פקס: 08-6557492

agr_exp@mop-rng.org.il



23/1/24

פיתוח הצללה מושכלת בכרם יין ברמת נגב

דו"ח שנתי לקק"ל ל- 2023

מגישים: איציק דוד ואמנון בוסתן – מז"פ רמת נגב; יוסי פישר – אגריליט מערכות אנרגיה בע"מ

תקציר

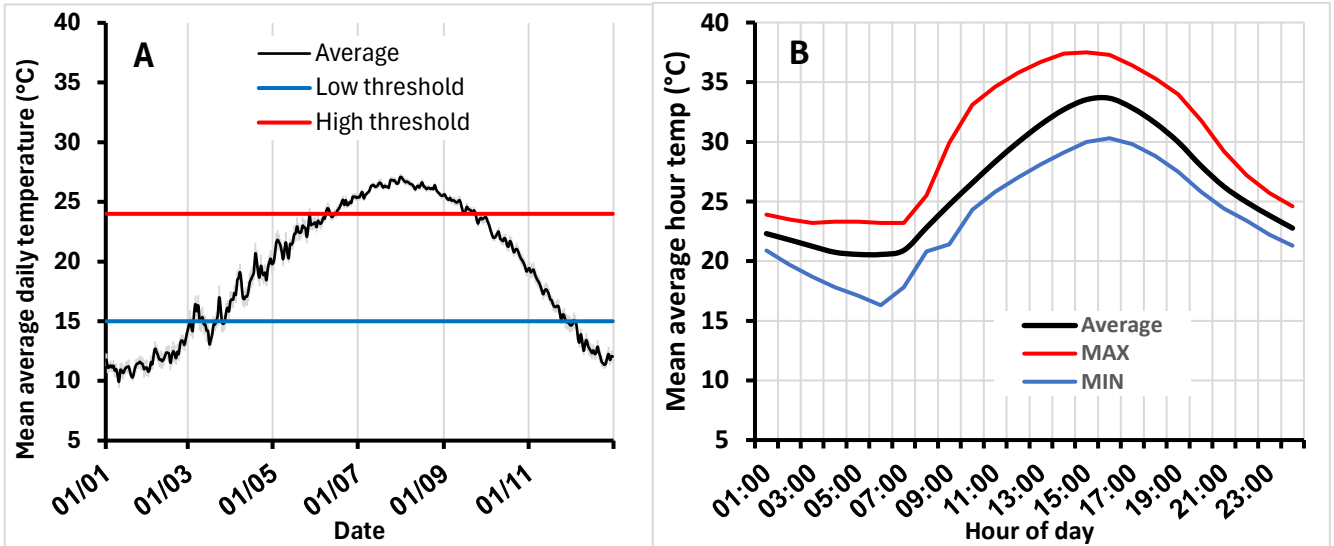
המחקר ברמת נגב מהווה חוד החנית בהתמודדות תרבות היין בעולם עם נזקי השינוי האקלימי המתממשים לנגד עינינו באזורי יין קלאסיים. זאת, בגלל מיקומה של ישראל, והנגב בפרט, בקצה הדרומי החם והמדברי של רצועת היין בחצי הכדור הצפוני. עודפי קרינה וטמפרטורה גבוהה מהאופטימום מחייבים המצאת פתרונות. הצללה קבועה נבחנה במספר מחקרים ונמצאה בלתי יעילה. ניתוח קונספטואלי של נתונים מטאורולוגיים שעתיים על פני 25 השנים האחרונות הוביל למסקנה, שרק הצללה מושכלת, עם מנגנוני בקרה ושליטה בממשק האור בכרם, תוכל להניב תועלת אמיתית לכרם. עלותו של מתקן כזה אינה באה בחשבון בכרם יין, אלא אם יהיה כרוך בהכנסה משמעותית נוספת. הענין הגובר במקורות אנרגיה מתחדשים הוביל לפיתוח מואץ של טכנולוגיות אגרו-וולטאיות, המשלבות יצור חקלאי עם ייצור חשמל בו-זמנית, מאותה יחידת שטח. ברובן המוחלט של הטכנולוגיות הללו קיימת פשרה מובנית בייצור בגלל עצם התחרות על משאב האור המשותף. טכנולוגיית אגריליט ייחודית בכך, שבאמצעות הסחה אופקית של הפאנלים ושליטה במיקום הצל במטע/כרם, תחרות זו אינה קיימת ואין צורך בפשרה. במז"פ רמת נגב חברנו לאגריליט להקמת אתר לימוד והדגמה. ב- 2023 היינו שותפים לפיתוח התפישה לניהול השליטה בממשק האור לטובת הגפן והוחל בהקמת המתקן בכרם. בשנתיים הבאות יורץ המתקן וישודרג. שילוב מתקן סולארי כזה בגידול גפן יין, לאחר בחינה ופיתוח מספיקים, עשוי להיות כלי ממשק חשוב ביותר בנגב, בישראל ובאזורי יין רבים בעולם.

מבוא

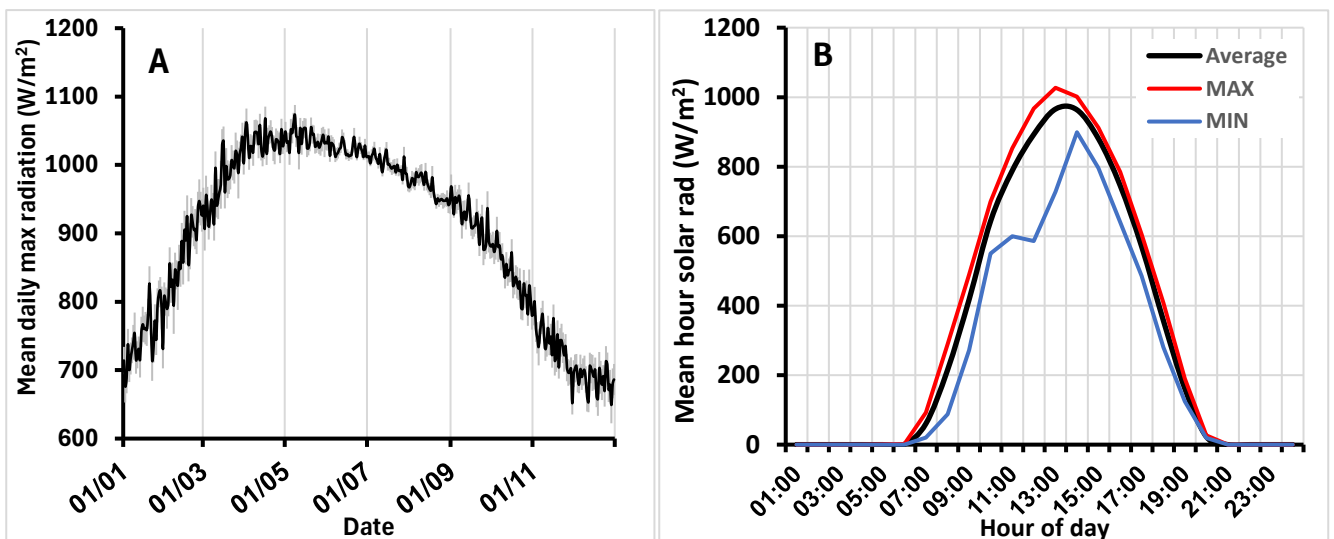
הגפן (*Vitis vinifera*) שזורה מקדמת דנא בתרבות ובהיסטוריה של ארץ ישראל. גפן יין גודלה בנגב בהיקפים שאפשרו יצוא רב-מוניטין (יינות עזה ואשקלון) לכל ארצות הים התיכון – עד המאה הששית לספירה. תעשייה זו קרסה מסיבות שונות, רובן לא ידועות, וחודשה רק בשלהי המאה הקודמת. היקף כרמי היין ברמת נגב כיום הוא מעל 1500 דונם והנטיעות מתרחבות. באזור הוקמו מספר יקבים, המצליחים לפתח מוניטין של איכות יין וייחוד.

בצד ההצלחה, הולכות ומתחדדות הבעיות הנובעות ממיקומו של האזור בקצה הדרומי, החם והיבש, של רצועת היין הקלאסית. תחום הטמפרטורה היומית הממוצעת בעונת הגידול (בנגב), מתחילת מרץ עד ספטמבר, תלוי בזון) המתאים לגידול גפן יין הוא 15-24 מ"צ. תחום זה מחולק לכחמישה אזורים אקלים, מהקר יחסית עד לחם מאוד. בנגב, גפן היין מתמודדת עם מנעד טמפרטורה גבוה המסווג אזור זה כחם במיוחד, אולי אף מעל סף היתכנות הגידול (איור A1). אם בשלב הצמיחה הווגטטיבית הטמפרטורה הגבוהה מעודדת צימוח מהיר והתפתחות טובה של הגפנים, הרי שבשלב הבשלת הפרי, מאמצע יוני עד ספטמבר, הטמפרטורה הממוצעת היומית על פני 25 השנים האחרונות חורגת

מאוד מהסף הגבוה ביותר של תחום האופטימום (איור A1). ממוצע של מהלך הטמפרטורה היומי ביום קיץ טיפוסי ברמת נגב (15 ליולי, למשל) מדגים היטב את הטמפרטורה הממוצעת הגבוהה העשויה לשרור מידי יום מהצהריים עד לפנות ערב – מעל 30 מ"צ בממוצע (איור B1). ניתן להתרשם גם מערכי המקסימום אליהם עשויה להגיע הטמפרטורה השעתית על פני 25 השנים האחרונות – מעל 30 מ"צ כבר מהשעה 08:00 בבוקר ומעל 35 מ"צ במשך כ-6 שעות ביום (איור B1).



איור 1. איפיון מהלך הטמפרטורה השנתי והיומי (בקיץ) ברמת נגב. A, ממוצע הטמפרטורה הממוצעת היומית בגובה 2 מ' מהקרקע במהלך שנה קלנדרית עפ"י נתונים יומיים מהשנים 1999-2023, על רקע גבולות האופטימום לטמפרטורה ממוצעת המקובלים בעולם כמתאימים לגפן יין בעונת הגידול; B, מהלך הטמפרטורה היומי ביום קיץ טיפוסי (15 ביולי) ברמת נגב בממוצע שעתית לשנים 1999-2023 ועם ערכי המקסימום והמינימום שנרשמו לשעות אלה על פני אותן שנים.



איור 2. איפיון מהלך שטף קרינת השמש (המגיעה לקרקע) השנתי והיומי (בקיץ) ברמת נגב. A, ממוצע מקסימום הקרינה היומי במהלך שנה קלנדרית עפ"י נתונים יומיים מהשנים 1999-2023; B, מהלך הקרינה היומי ביום קיץ טיפוסי (15 ביולי) ברמת נגב בממוצע שעתית לשנים 1999-2023 ועם ערכי המקסימום והמינימום שנרשמו לשעות אלה על פני אותן שנים.

הטמפרטורה הגבוהה ברמת נגב בקיץ נובעת בחלקה מערכים גבוהים של קרינת השמש המגיעה לקרקע (איור A2) בהעדר כיסוי עננים ומלחות יחסית נמוכה במהלך שעות האור. שיא הקרינה היומית המגיעה לקרקע במהלך השנה מתייצב על ערכים גבוהים בתחום 1000-1150 וואט/מ"ר כבר באפריל ועד אמצע יולי (איור A2). במהלך הבשלת הפרי ברמת נגב, ערכי הקרינה המגיעה לקרקע (ולגפן) נעים בתחום 600-950 וואט/מ"ר החל מ- 09:00 בבוקר עד 17:00 אחה"צ, כשמונה שעות מידי יום (איור B2). במחקרינו בתחנה ובאזור בשנים האחרונות מצאנו, שעודף קרינת שמש ישירה האופייני לאזור בקיץ עלול לפגוע ישירות בשרידות הפרי, עוד בטרם הגענו לעשיית היין. באשכולות פרי שהיו חשופים לשמש נמדדה טמפרטורה של 46-52 מ"צ כבר ב- 10:00 בבוקר, בעוד שבאשכולות שכנים, שהיו בצל העלווה, נמדדה טמפרטורה של כ- 32 מ"צ, בדומה לזו ששררה בסביבה באותה עת. ברור שתנאים כאלה אינם משרתים גדילה והתפתחות תקינות של הפרי ואכן, בזנים רבים בחלקה בולטת תופעת הצטמקות וקריסה של אשכולות בתקופת הבשלת הפרי, טרם בציר, ואובדן חלק ניכר מהיבול. גם איכות הפרי עלולה להיפגע ובעקבותיה, איכות התירוש והיין. בחלק מהזנים הלבנים הופיעו כתמים בלתי רצויים בקליפת הפרי. בזנים רבים, הפרי אינו מגיע לסף ריכוז הסוכרים (בריכס) הרצוי לבציר. במקביל, קצב התפוגגות החומצות האורגניות בפרי מואץ בתנאי טמפרטורה גבוהה. ה- pH הרצוי בתירוש בעת הבציר הוא 3.4-3.6; 'בריחת' ה- pH מעל לתחום זה פוגעת באיכות היין ובכושר השתמרותו.

עם כל זאת, מצאנו גם שמין גפן היין אוצר בחובו פוטנציאל גנטי רחב ועמוק הנדרש להתמודדות עם בעיות אלה. מתוך 30 זני גפן יין הנבחנים בתחנת המחקר ברמת נגב (כ- 300 מ' מעל פני הים), נמצאו שני זנים לבנים (מתוך עשרה) שהצטיינו ביבול ובאיכות יין, ועוד 3-4 זנים אדומים (מתוך העשרים הנבחנים) שהניבו יינות טובים למדי. יצוין שבחלקה דומה בהר הנגב, הגבוהה בכ- 550 מ', מספר הזנים האדומים המצטיינים היה גבוה יותר.

ועדיין, מעבר להתאמת זנים, המפתח להצלחה בגידול גפן יין וייצור יין איכותי בתנאי מדבר כאלה טמון בפיתוח ממשק גידול שיפחית את חשיפת הגפנים והפרי לקרינת שמש ישירה ויצור מיקרו-אקלים פחות חם ויותר נוח להתפתחות הפרי. עקרונית, הצללה היא הפתרון הראשון העולה על הדעת; השאלה היא איך מביאים הלכה למעשה. עיצוב שונה של נוף הגפן ומעבר מ-VSP להדליה שמוטה יותר משתמש בעלווה הקיימת כדי להגן ולהצל על האשכולות. המחיר של גישה טבעית זו מתבטא באיבוד יתרונות ה-VSP בכל הנוגע לאחידות ההבשלה ואיכותה, אוורור הכרם, נגישות יישומי הגנת הצומח ובציר מכני.

הצללה אקטיבית באמצעות פרישת רשתות צל מעל נוף הגפנים מיושמת בישראל בהיקף רחב בגפן מאכל, למטרות שונות. לעומת זאת בגפן יין, הגישה הזו לא התקבלה מסיבות שונות, בעיקר כלכליות ותרבותיות, והיא החלה להיבחן רק בעשור האחרון. ניסויים שנערכו לפני שנים בכרם שדה בוקר לא הניבו תועלת חד משמעית. בסדרת עבודות בכרם אגודת רמון נבחנה הצללה שהותקנה על גבי פרופיל Y בזן גוורצטרמינר במהלך התפתחות הפרי והבשלתו. גם כאן, התוצאות היו לכאן ולכאן: חלק ממדדי האיכות השתפרו, אך אחרים נפגעו והתועלת הכלכלית מהיישום לא היתה ברורה. בניסויים שערכנו בכרמי קדש ברנע, הצללה קבועה בקיץ ברשת אלומיניט מעל הנוף אומנם הביאה לירידה מסוימת בטמפרטורת האשכול וסביבתו במהלך היום, אך גם גרמה לעליה בטמפרטורה

בלילה, בהשוואה לביקורת, ללא השפעה ברורה על איכות הפרי והתירוש. בכל הניסויים הללו לא נבחנו מדדים פיסיוולוגיים כמו קצב קיבוע הפחמן ומהלכו היומי, טמפרטורת העלווה ומצב המים בגפן.

המסקנה העולה מניסויים אלה היא, שכדי שניב תועלת ממשית, משטר ההצללה היומי חייב להיות מנוהל בהתאם לתנאי הסביבה השוררים ולצרכי הגפן ומצבה בזמן נתון. כדי ליישם משטר הצללה מנוהל כזה יש להתגבר על שני מכשולים עיקריים: א. הכרה והבנה מעמיקים של מצב הגפן וצרכיה בזמן אמת; ב. עלות גבוהה של הקמה ותפעול מערכת ההצללה.

המכשול הראשון פתור במידה רבה; גפן היין היא אחד המינים הנחקרים ביותר והידע הקיים רב מאוד. כדי להפיק את המיטב מידע זה יש להתקין חיישנים למדידה ישירה ורציפה של מדדים סביבתיים ופיסיוולוגיים רלבנטיים באופן שייצג את מצב הכרם. מידע זה ישודר בזמן אמת ויעובד במערכת בקרה ותפעול של מתקן ההצללה. נדרש פיתוח טכנולוגי של "מוח" המערכת והאלגוריתמים המפעילים אותה ושוב, גם כאן, נדרשת השקעה כספית גדולה, שעד כה, ההכנסות מהגידול לא יכלו לממן.

בשנים האחרונות, בעקבות השינוי האקלימי והגעתו לפתחם של מקבלי ההחלטות, גובר הצורך והעניין בפיתוח מקורות אנרגיה מתחדשת. שילוב פעילות חקלאית עם הפקת חשמל ממתקנים פוטו-וולטאיים (אגרו-וולטאי) הוא אחד האפיקים המבטיחים. צירוף ההכנסות מהייצור החקלאי ומייצור החשמל צפוי להגדיל משמעותית את ההכנסה ליחידת שטח חקלאי. בכרם, הכנסה כזו עשויה לתמוך בהקמה ובתפעול מתקני הצללה מושכלת. אלא שהחזון האגרו-וולטאי מציב אתגרים מדעיים, טכנולוגיים וכלכליים מורכבים. זהו תחום חלוצי, שהניסיון המעשי בו מועט יחסית ומעבר לכך, נדרשת התאמה מרבית למקום היישום, מכל הבחינות. מה שנלמד והודגם בצרפת אינו בהכרח נכון ורלבנטי לנגב.

המחקר ברמת נגב מהווה חוד החנית בהתמודדות תרבות היין בעולם עם נזקי השינוי האקלימי המתממשים לנגד עינינו באזורי יין קלאסיים. שילוב מתקן סולארי בגידול גפן יין, לאחר בחינה ופיתוח מספיקים, עשוי להיות כלי ממשק חשוב ביותר בנגב, בישראל ובאזורי יין רבים בעולם. מו"פ רמת נגב פועל בשיתוף פעולה הדוק עם חברת אגרילייט מערכות אנרגיה בע"מ להקמת מתקן לימוד והדגמה בכרם היין בתחנה. חברת אגרילייט היא בעלת פטנט ייחודי לטכנולוגיה של הסעה אופקית של פאנלים סולאריים מעל הנוף ושליטה מרבית במיקום הצל. הטכנולוגיה מיועדת לגידולי שורה כמו כרם ומטעים, אך תוכל לעבור התאמות לגידולים רבים נוספים. מתקן הדגמה טכני ראשוני קיים ופועל בכפר מעש. החברה זכתה בתחרות רשות החדשנות בתחום אנרגיה מתחדשת ובמימון לשנתיים הקרובות. חוקרי מו"פ רמת נגב מעורבים בפיתוח מודל הפעלת המתקן והשליטה בו בכרם בהתאם לשיקולים אגרונומיים.

מטרות המחקר והפיתוח בפרויקט ב-2023 היו: א. פיתוח מודלים קונספטואליים להפעלת המתקן בשאיפה לאופטימיזציה מרבית של יבול הכרם ואיכותו ופוטנציאל ייצור החשמל; ב. הקמת מתקן אגרו-וולטאי מעל חלק מחלקת זני היין בתחנה. בשנתיים הבאות יופעל המתקן וייבחנו המודלים להפעלתו תוך בחינת השפעת ניהול הצל מעל הכרם במהלך היממה והעונה על מדדים פיסיוולוגיים בגפן ועל היבול ואיכותו במספר זנים נבחרים.

שיטות וחומרים

בהתאם למטרות שהוצבו ל-2023, העבודה נחלקה לשני תחומים: א. פיתוח קונספטואלי של המודלים להפעלת המתקן; ב. הקמת המתקן הפיזי, בכרם זני גפן היין בתחנה.

תוצאות ודין

פיתוח התפישה להפעלת המתקן האגרו-וולטאי בכרם

הרעיון האגרו-וולטאי מכיל, לכאורה, פרדוקס: כיצד יתכן להציב על אותו שטח שניים המתחרים על אותו משאב ולצפות להגדלת התועלת? הגידול החקלאי והמתקן הפוטו-וולטאי, מתחרים שניהם על משאב משותף – קרינת השמש. אך, כמאמר הנביא: "הילכו שניים יחדיו בלתי אם נועדו?" (עמוס: ג', ג), יש לבחון את הבעיה לעומקה ולזהות מה מאפשר שותפות במקום תחרות. בפרויקט הנדון, קיימים שני גורמים הפועלים בסינרגיה ומשרתים את השותפות: א. טכנולוגיית אגרילייט; ב. ניתוח והבנה בסיסיים של הפיסיולוגיה של הצמח בתנאי סביבה נתונים.

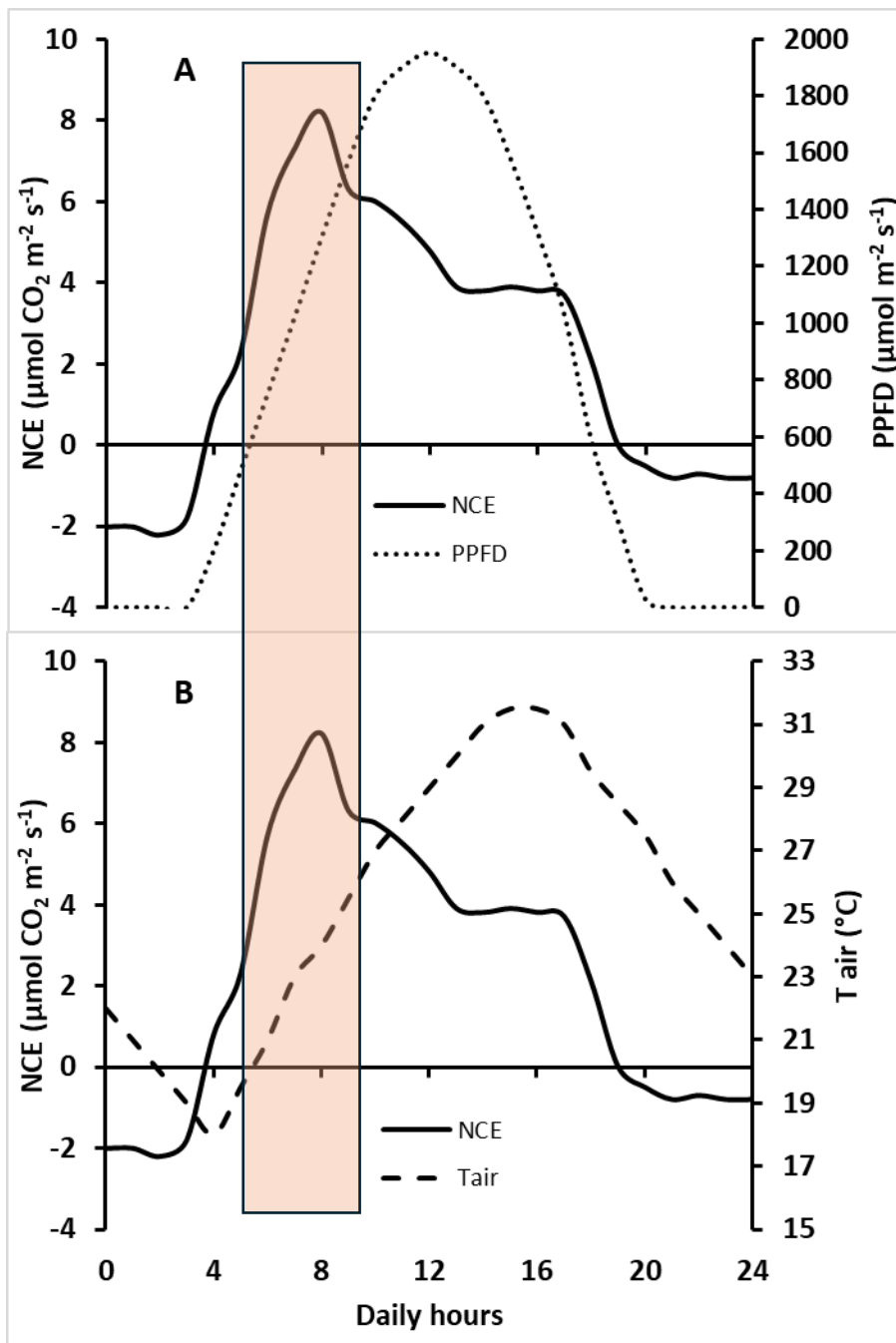
הייחוד בטכנולוגיה של אגרילייט טמון בתנועה האופקית של הפאנלים וביכולת השליטה במיקום הצל. הפאנלים מוצבים מעל ולאורך שורות הגידול בכיוון צפון-דרום. רוחב הפאנלים שנבחרו לכרם הוא 1.5 מ', מחצית הרווח בין השורות, כך שמקדם הכיסוי הוא 50%. התנועה האופקית של הפאנלים מאפשרת למקם את הצל מעל שורת הגפנים או בשביל בין השורות, או ליצור תנועה סירונית בין שני המצבים, במהירות נבחרת. טכנולוגיות מתחרות כוללות פאנלים חד-ציריים, הנעים בין מפנה מזרחי ומערבי במהלך היום ובהן מובנה ויתור על נתח אנרגיה משמעותי המופנה לטובת הגידול על חשבון ייצור החשמל. בטכנולוגיית אגרילייט, ייצור החשמל רצוף לאורך שעות היום ותלוי רק בזווית הפאנל ביחס למיקום השמש בשמיים; הפניית קרינת השמש אל הגידול וממנו מבוצעת אך ורק באמצעות התנועה האופקית של הפאנל. שדרוג נוסף שבוצע לאחרונה הוא הפניית הפאנל בזווית לכיוון דרום. התוצאה הכוללת היא יתרון ניכר לאגרילייט בפוטנציאל היומי של ייצור החשמל.

הפעילות המטאבולית והפיסיולוגית בצמחים מגיבה לתנאי סביבה לפי פונקציות אופטימום, שהן אופייניות למין ולזן. בגפן, הפעילות הפוטוסינתטית (קיבוע הפחמן) מתקרבת לרווייה בשטף קרינה של כ-600 וואט\מ"ר. מעל לשטף קרינה זה, אין עליה נוספת בקצב קיבוע הפחמן והעלווה מתמודדת עם עודפי אנרגיה. התמודדות זו מתבטאת בעליה בטמפרטורת העלה, שיבושים במשק המים בעלה, והצטברות גורמי נזק בטווח הזמן הקצר והבינוני. בחשיפה קצרה יחסית לשטף קרינה גבוה מידי, תחול ירידה משמעותית בקצב קיבוע הפחמן. חשיפה ממושכת ומצטברת עלולה לגרום לנזק שאינו בר-תיקון בעלה הנפגע.

תהליך קיבוע הפחמן, כמו כל התהליכים הביוכימיים בצמח, רגיש מאוד לטמפרטורת הסביבה, גם כאשר שטף הקרינה אינו עולה מעבר לאופטימום. אופטימום הטמפרטורה לקיבוע פחמן בגפן נע בתחום רחב למדי, 20-30 מ"צ והוא שונה בין הזנים. מעל תחום טמפרטורה זה, קצב קיבוע הפחמן יורד באופן חד, גם בגלל תלותו במשק המים בצמח, המשתבש במהירות כשהטמפרטורה עולה. יש לזכור, שהטמפרטורה הקובעת באמת היא זו של העלה עצמו; בחשיפה ממושכת לקרינת שמש

ישירה ועודפת, טמפרטורת העלה עלולה להיות גבוהה משמעותית מטמפרטורת הסביבה הנמדדת באותה עת וקצב קיבוע הפחמן במצב זה יגיב לטמפרטורת העלה.

אזורי אקלים ים-תיכוניים מתאפיינים בקיץ יבש וחם. תכולת לחות נמוכה באטמוספירה מאפשרת לשטף קרינה גבוה להגיע לקרקע. רוב מיני הגידולים החקלאיים רגישים לעודפי הקרינה ולטמפרטורה הגבוהה בקיץ וזקוקים להגנה. ביום קיץ טיפוסי, המערכת הפוטוסינתטית מגיעה לרוויה מוקדם יחסית בבוקר. גם הטמפרטורה מקדימה לעלות מעבר לתחום האופטימום. כתוצאה מכך, מתקצר מאוד פרק



הזמן ביום בו קצב קיבוע הפחמן מיטבי ("שעת הזהב של הצמח) ולמעשה, היצרנות הראשונית של הגידול החקלאי מוגבלת מאוד (איור 3). בתנאים ארידיים, כמו בנגב, "שעת הזהב" בימים רבים עלולה להיות קצרה במיוחד.

איור 3. מהלך יומי סכמתי של קצב קיבוע הפחמן (NCE) בעלי גפן ביחס למהלך יומי נתון של שטף האור הפוטוסינתטי (PPFD) (A), וביחס למהלך יומי נתון של טמפרטורת האוויר (B) ביום קיץ רגיל. מבוסס על נתונים מ-Tarara et al., 2011. שעת הזהב של

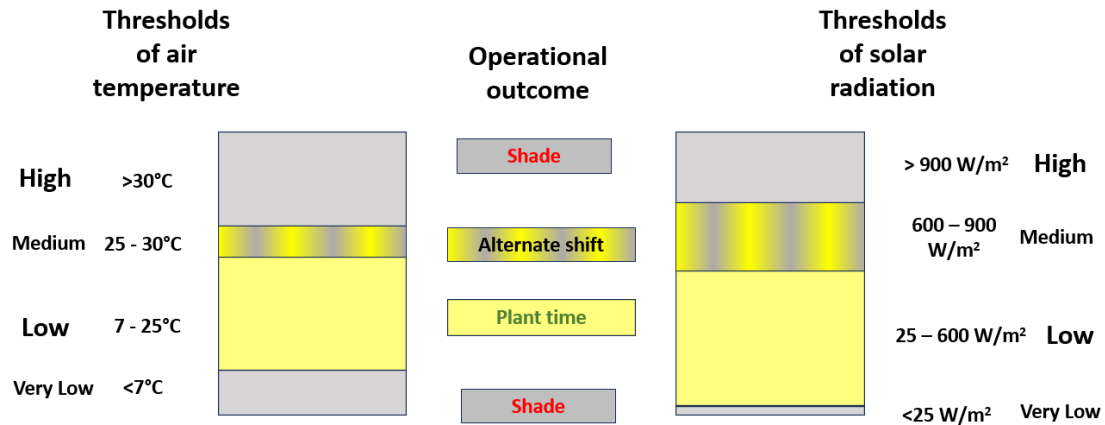
הצמח, בה שוררים תנאי קרינה וטמפרטורה אופטימליים לקיבוע פחמן, מתקיימת ממעט אחרי הזריחה עד לסביבות 09:00-10:00 בבוקר (מיוצגת באמצעות המלבן הכתום).

בהסתמך על ממוצעי הנתונים השעתיים של טמפרטורה וקרינה ברמת נגב ב- 25 השנים האחרונות (איורים 1 ו- 2), ערכנו מודל הפעלה אינטואיטיבי לניהול ממשק האור והצל בכרם בהתאמה לחודשי השנה ולשעה ביום (איור 4). בחורף, בחודשים נובמבר עד פברואר, הגפן בשלכת ובתרדמה ואינה זקוקה לקרינת שמש ישירה; בתקופה זו אין חשיבות עקרונית למיקום הפאנלים מעל הכרם.

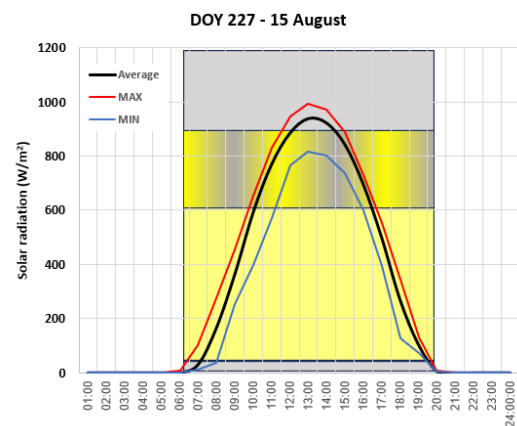
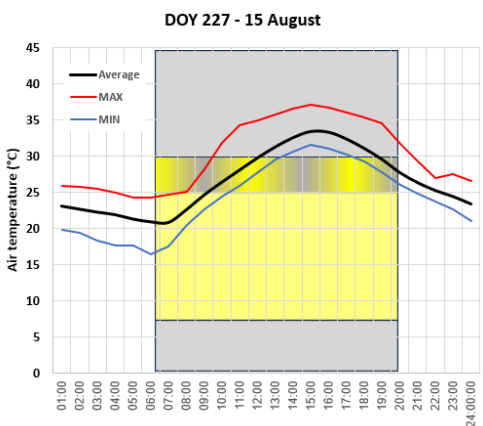
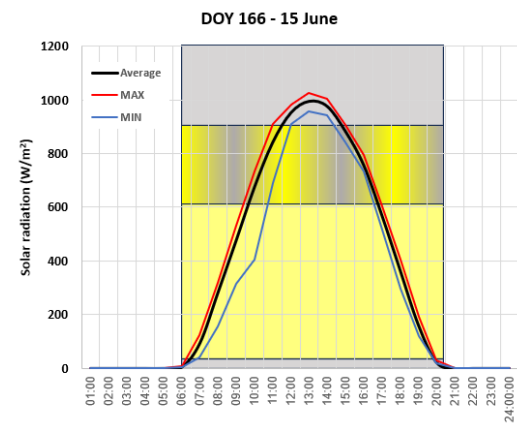
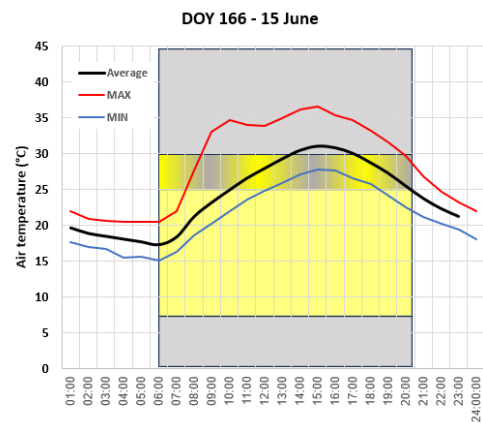
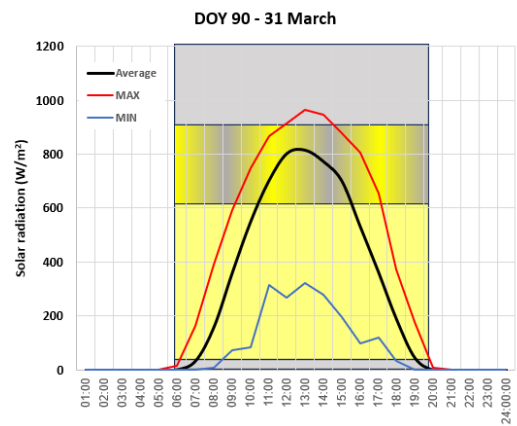
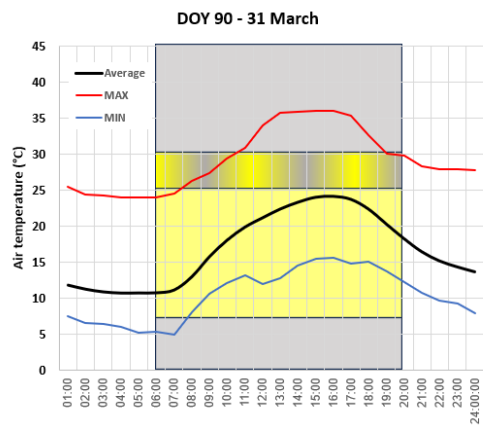
Daily hour	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
00:00-04:00	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black
04:00	Black	Black	Black	Black	Black	Green	Green	Black	Black	Black	Black	Black
05:00	Black	Black	Black	Green	Green	Green	Green	Green	Black	Black	Black	Black
06:00	Black	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Black	Black
07:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
08:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
09:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
10:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
11:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
12:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
13:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
14:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
15:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
16:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
17:00	Yellow	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Black	Black
18:00	Black	Black	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Black	Black	Black
19:00	Black	Black	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Black	Black	Black	Black
20:00	Black	Black	Green	Green	Green	Green	Black	Black	Black	Black	Black	Black
21:00-24:00	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black	Black
	Black					Green			Yellow			
	Dark time		PV time			Plant time			Alternate shifting			

איור 4. מודל אינטואיטיבי שעתי חודשי להפעלת ממשק האור והצל בכרם. המודל מתייחס לזמן החושך (שחור); זמן הצמח, בו יש להביא לחשיפה מלאה של הגפן לקרינה ישירה (ירוק); זמן הצללה, בו נתמקד בהגנה על הגפנים מקרינה ישירה (צהוב); וזמן ביניים, בו ינועו הפאנלים לסירוגין ממצב חשיפה להצללה (צהוב-ירוק). מודל זה ישמש ברירת המחדל ובסיס להפעלה מתוחכמת יותר.

מצב הפאנלים ביחס לשורות הגפנים מונחה לפי סיפי קרינה וטמפרטורה (איור 5). הצללה מלאה תופעל בשני מצבים: כאשר הטמפרטורה נמוכה מ-7 מ"צ, או כאשר היא גבוהה מ-30 מ"צ והקרינה גבוהה מ-900 וואט/מ"ר. חשיפה מלאה של הגפנים לקרינה תתקיים כאשר הטמפרטורה בתחום 7-25 מ"צ והקרינה מתחת ל-600 וואט/מ"ר. תנועה סירוגית של הפאנלים, היוצרת חשיפה סירוגית לאור ולצל, תתקיים בתחום ערכי ביניים; 25-30 מ"צ ולא 600-900 וואט/מ"ר. כשאין קונצנזוס בין המדדים, מדד הטמפרטורה הוא הקובע.



איור 5. ערכי סף אור וטמפרטורה לתפעול מערכת אגריליט לניהול האור והצל בכרם יין. כשאין קונצנזוס – סף הטמפרטורה שולטה העונה הפעילה בגפן נחלקת לשלבים הנבדלים ביניהם בצרכים וברגישות לעודפי קרינה מצד אחד, ובאורך היום הזמני החשיפה לתנאי עקת קרינה וטמפרטורה. הבדלים אלה הוטמעו במודל ההפעלה הבסיסי של תנועת הפאנלים ומצבם בהתאם לממוצעים השעתיים הרב-שנתיים עבור כל מועד קלנדרי בעונה. איור 6 מדגים את הנתונים ודפוס ההפעלה המתבקש בשלושה מועדים נבחרים לאורך העונה.



איור 6. דפוסי הפעלת ממשק האור והצל בכרם בהתאם לממוצעים השעתיים הרב-שנתיים של הטמפרטורה והקרנה המגיעה לקרקע בשלושה מועדים שונים במהלך עונת גפן היין ברמת נגב: סוף מרץ – שלב וגטיבי נמרץ; אמצע יוני – אורך היום בשיאו, התפתחות הפרי; אמצע אוגוסט – הבשלה. באיור מובאים גם נתוני המקסימום והמינימום שנרשמו ב- 25 השנים אחרונות כדי להדגים את מסגרת האפשרויות למדדים אלה בכל מועד.

ניתן לראות שבסוף מרץ, בעיצומו של הצימוח הוגטיבי, הטמפרטורה הממוצעת אינה מהווה מגבלה, אך שטף הקרינה הממוצע באמצע היום מצריך הגנה באמצעות תנועה סירוגית של הפאנלים. נתוני המקסימום והמינימום שנרשמו במועד זה בשנה רחוקים מאוד מהממוצע ומעידים על מנעד רחב מאוד של מצבים עמם תיאלץ המערכת להתמודד. באמצע יוני, עת התפתחות הפרי אך טרם

הבשלתו, הטמפרטורה הממוצעת גבוהה ומחייבת הצללה מלאה בשעות אחה"צ המוקדמות. נתוני הקרינה מתכנסים אל הממוצע ובשיאם, באמצע היום, מחייבים גם הם הצללה מלאה. אין חפיפה מלאה בין שני המדדים ובשלב ההפעלה הבסיסית, הטמפרטורה קובעת. ערכי מקסימום הטמפרטורה שנמדדו במועד זה גבוהים מאוד ומלמדים גם הם על הצורך בהתאמות בזמן אמת. באמצע אוגוסט, חלק מהזנים כבר נבצר והאחרים לקראת שיא ההבשלה, מדדי הקרינה כבר בירידה ולפיהם הצורך בהצללה מלאה פוחת. לעומת זאת, הטמפרטורה הממוצעת גבוהה מהרצוי ומחייבת הצללה מלאה כבר מהבוקר המאוחר עד לפנות ערב. גם ערכי מקסימום הטמפרטורה גבוהים מאד ויחייבו התאמות (איור 6).

ברור לחלוטין, שהסתמכות על ממוצעים רב-שנתיים עלולה להוביל לשגיאות קשות. לכן מודל I, הבסיסי, מהווה תכנית הפעלה ראשונית, כברירת מחדל. הפעלת המתקן בדרך זו מתוכננת להיות קצרה ביותר ונמצא אותה למדידת השפעת ההצללה על מדדים צמחיים שונים בגפן. הכוונה היא לעבור במהירות האפשרות להפעלת מודל II, המסתמך על נתוני אמת, on-line, מחיישי טמפרטורה וקרינה שיוצבו בכרם ויספקו ערכים רלבנטיים לסביבת הגפנים תחת המתקן ובביקורת. מודל III, המתקדם עוד יותר, צפוי להסתמך על מדידות בזמן אמת של טמפרטורת העלווה. מודל זה יפותח במהלך השנה הקרובה וייבחן במהלך עונת 2025.

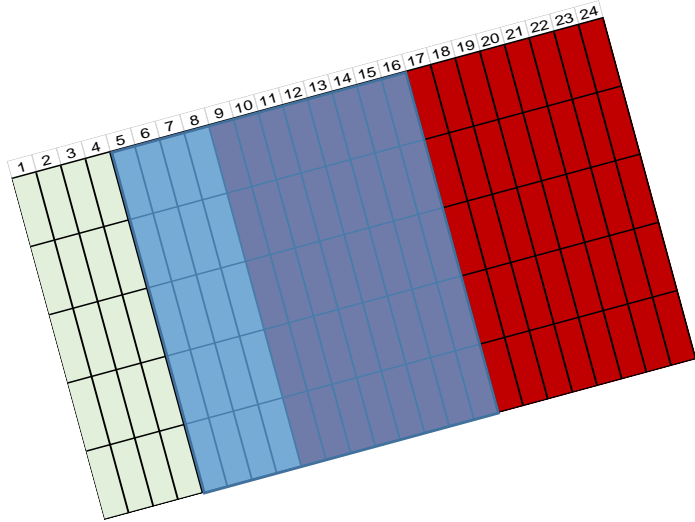
הקמת המתקן בכרם

Row#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24				
C u l t i v a r s	1	6	3	4	7	2	5	8	13	19	16	26	17	24	29	21	28	22	23	27	30	25	20	15				
	2	7	10	5	6	9	4	1	17	20	23	25	11	13	14	15	18	12	21	16	29	24	19	14				
	3	8	1	9	10	5	2	7	21	12	29	30	19	22	27	25	17	11	15	26	28	23	18	13				
	4	9	7	8	3	1	6	10	18	24	14	28	26	16	23	30	29	20	24	19	27	22	17	12				
	5	10	2	6	4	8	3	9	11	22	27	15	20	18	28	12	25	14	13	30	26	21	16	11				
	#CV	White wine cvs					#CV	Red wine cvs																				
	1	Chardonnay					11	Argaman					21	Syrah														
	2	Sauvignon blanc					12	Grenache					22	Dolceto														
	3	Gewurztraminer					13	Cabernet Sauvignon					23	Toriga Nacional														
	4	Muscat Blanc					14	Temperanillo					24	Ruby Cabernet														
	5	Muscat Alex.					15	Zinfandel					25	Pinotage														
	6	Pinot Gris					16	Pinot Noir					26	Petit Syrah														
	7	Colombard					17	Merlot					27	Malbec														
	8	Semillon					18	Carignan					28	Sangiovese														
	9	Chennin Blanc					19	Cabernet Franc					29	Tinta Cao														
	10	Reisling					20	Petit Verdot					30	Barbera														

איור 7. מפת הזנים בחלקת כרם היין במו"פ רמת נגב

חלקת זני גפן היין במו"פ כוללת 30 זנים: 10 לבנים ו-20 אדומים (איור 7). כל הזנים מסחריים ומגודלים בישראל וכאן אנו בוחנים את התאמתם לתנאי רמת נגב ולחילופין, בוחנים ממשק גידול

מתאים לכלל זן. תקוותנו היא, שהצללה מושכלת באמצעות מתקן פוטו-וולטאי משולב בכרם (איור 8) תכניס זנים נוספים למבחר הזנים המתאימים לנגב.



איור 8. תוכנית המתקן האגרו-וולטאי בכרם המו"פ ביחס לחלקות הזנים. מימין, שורות 1-4 ישמשו ביקורת לזנים לבנים ושורות 5-8 ייבחנו את אותם זנים תחת מתקן אגרילייט; בשורות 9-16 תיבחן השפעת מתקן אגרילייט על הזנים האדומים בהשוואה לביקורת בשורות 17-24. משמאל, סימולציה של תוכנית המתקן על גבי תצ"א.



תמונה 1. לאחר קידוח ונעיצת ברגי אלומיניום מסיביים לאורך השורות, הוצבה בדצמבר התשתית למתקן (עמודים ומסילות). דימוי הפאנלים, המנועים ומערכות ההפעלה והבקרה יותקנו בפברואר 2024.

בשנת 2023 התחלנו בהצבת המתקן בכרם (תמונה 1). כרגע

התקציב מאפשר מימוש מחצית מהמתקן המתוכנן, כלומר 12 השורות שתוכננו, אך רק בכחצית מאורכן. במצב זה, רק חלק מהזנים יכללו בבחינה. אנו עושים מאמץ להשיג מימון נוסף לצורך הרחבת המתקן עד למימוש התוכנית המקורית. חלק מהציוד עושה את דרכו לישראל בים ומתעכב בגלל המלחמה וספיחיה. אנו מקווים שהמתקן יעמוד כבר בסוף פברואר 2024 ויופעל במתכונתו הבסיסית (מודל I) באביב הקרוב ובמתכונת מודל II בקיץ 2024.

מסקנות ותוכניות

במהלך שנת 2023 השלמנו את התכנון הקונספטואלי של הפעלת טכנולוגיית אגרילייט בכרם יין איכותי. בחינת נתונים מטאורולוגיים שעתיים על פני 25 השנים האחרונות ברמת נגב הגדירה דפוסי הפעלה עקרוניים (מודל I), אך גם הצביעה על כך, שהפעלה נכונה ויעילה של המתקן חייבת להישען על נתוני אמת מהשטח בזמן אמיתי (מודל II). יתירה מזאת, בעתיד, בכוונתנו לבסס את הפעלת המערכת על נתוני אמת של מדדים צמחיים on-line, כמו טמפרטורת העלווה.

נוכחות המערכת הסולארית והצל המוטל על הגידול צפויים להשפיע על קיבוע הפחמן בגפן דרך מספר גורמים עיקריים, בהם עוצמת הקרינה החודרת אל נוף הגידול במהלך היום ועונות השנה; טמפרטורת ולחות האוויר היחסית בסביבת נוף הגידול; מתח המים בקרקע ומאזן המים בצמח. הצללה חלקית עשויה לשפר את מאזן המים של הגפן ואף להפחית את צריכת המים, כפי שנמצא בגפן בצרפת. אלא שהדבר מורכב מאד ותלוי בשינויים שיחולו בטמפרטורת האוויר והעלווה ובלחות היחסית בסביבת העלווה. באין נתונים מסודרים, חלק חשוב בפרויקט המוצע יהיה ניטור רצוף ומפורט של התנאים תחת המערכת הסולארית, בצמח ובקרקע, בהשוואה לביקורת.

להצללה חלקית ולשינויים הסביבתיים החלים בעקבותיה צפויות השפעות ניכרות על הפנולוגיה של הגידול ובעיקר האטה בקצב ההתפתחות והמעבר משלב התפתחותי אחד למשנהו. דחיית התעוררות הגפן ויותר מכך, דחיית מועד הפריחה עלולות לשנות את דפוסי ההתפתחות של הפרי ובמיוחד, לדחות את פרק הבשלת הפרי ולהאריכו לתוככי העונה החמה ביותר – אוגוסט-ספטמבר או אף לאחריה. לשינויים אלה יש השלכות כבדות משקל על איכות הפרי והיין, השלכות שאינן צפויות ולכן מחייבות בחינה מעמיקה. להצללה ישנן גם השפעות ישירות על מדדי איכות הפרי. חלק מהן חיוביות, כמו מיתון קצב ההבשלה או הגברתו (תלוי בזן), מיתון הירידה בחומצה, והקטנת החשיפה לצריבות ומכות שמש. לעומת זאת, התפתחות עוצמת הצבע ומטאבוליטים משניים אחרים הקובעים את איכות העינב והיין עלולים להיפגע בתנאי צל. לכן יש לבחון היטב גם את ההשפעות הישירות של המערכת הסולארית על איכות היבול. בנוסף, השינויים הצפויים בסביבת הגידול עשויים להשפיע מאד על התפתחות מחלות ומזיקים במהלך עונת הגידול. לכן ננהל פיקוח הדוק כדי להגיב בזמן אמת ולאמוד את השינויים הנגרמים בהיבט זה בעלויות הגידול.

בנוסף לאלה, להצללה עלולה להיות השפעה שלילית על יבולי הגפן לאורך שנים. התמיינות הפקעים הרפרודוקטיביים מתרחשת באביב, אפריל – יוני, ולהצלחה נדרשת חשיפה מסוימת לאור השמש. הצללה מוגזמת (ולא ברור כמה), עלולה לפגוע בתהליך, לגרום להתפתחות אשכולות קטנים, פגומים ומעטים, ובכך להקטין את פוריות הכרם ואיכותו לאורך זמן - בעיה המחייבת מעקב רב שנתי. צוות מו"פ רמת נגב וחוקריו יפעילו מערך ניטור של תנאי הסביבה המיידית של הגפנים בכרם תחת החופה הסולארית ובביקורת, ינהלו מעקב פנולוגי ויעקבו אחר מדדי הבשלת הפרי בזנים השונים. בנוסף, חוקרי המו"פ יהיו מעורבים בהמשך פיתוח והפעלת הבקרה של תנועת הפאנלים וניהול ממשק האור בכרם.

