

שיטת טריגו לשילוב מערכת סולארית בגידול בעל / חיטה

דו"ח ניסוי אגרו-PV בדיקת היתכנות לפתרון אגרו-PV בשדות בעל של חיטה באזורים יבשים

שדות קיבוץ להב 2021/2022



אוניברסיטת חיפה: תמר קרוגמן, ניקולאי גובטה
גד"ש ש.כ.ל.: עידן ריצ'קר
טריגו סולאר: דורון רטר, אבי אלקיים, ישראל אוחנה
משרד החקלאות: אשר אייזנקוט (גימלאי)

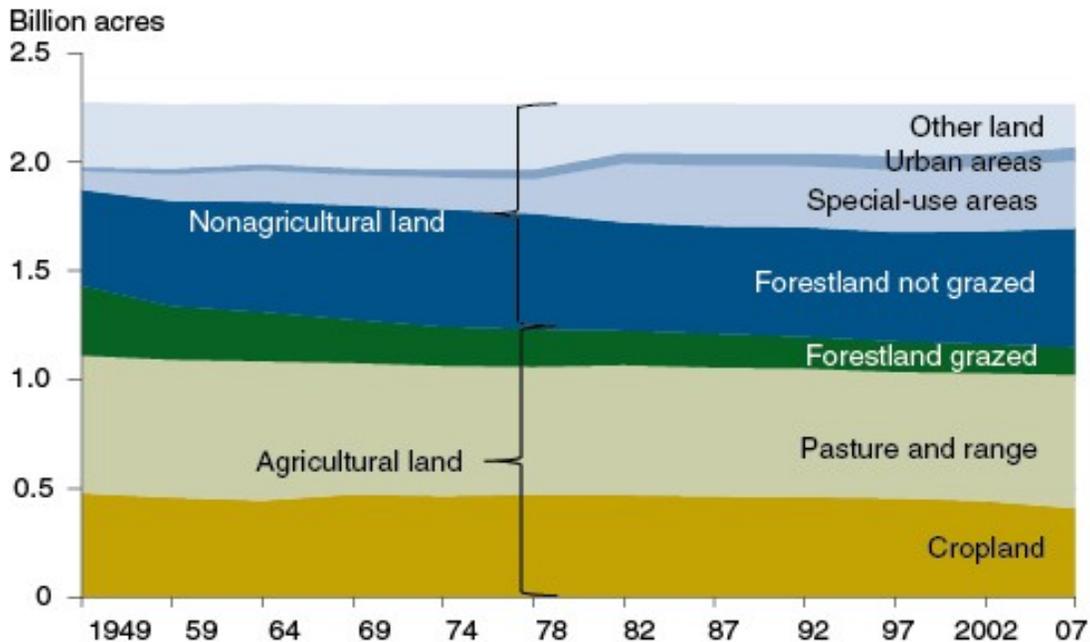
3	שילוב מערכות סולאריות בחקלאות	1
4	יישום רצועות אגני קליטת מים בשטחי גידול בעל של חיטה לייעול התפוקה החקלאית	1.1
5	שיטת טריגו לחקלאות בעל [בהליך רישום פטנט]	2
7	תיאור הניסוי בשדות קיבוץ להב	3
8	תוצאות הניסוי	4
9	כמויות מים והשפעתם על הצצה של הנבטים.	4.1
9	עומק ההרטבה בקרקע	4.2
11	גובה צמח ומועד השתבלות	4.3
11	תוצאות יבול : מספוא ויבול גרגרים	4.4
11	קציר מספוא	4.4.1
13	תוצאות קציר הגרגרים	4.5
13	קציר ידני של שיבולים בודדות (נתונים 1-5)	4.5.1
14	תוצאות יבול	4.5.2
15	יבול גרגרים (קציר קומביין) ומשקל הקטוליטר	4.5.3
17	דיון ומסקנות	5
18	משמעות כלכלית לשיטת טריגו לחקלאות חיטה בצפון הנגב	6
20	רשימת מובאות	7

1 שילוב מערכות סולאריות בחקלאות

שינוי האקלים העולמי יחד עם מאפייני מדינת ישראל מציבים בפנינו שלושה אתגרים:

- הצורך בהפחתת הפליטות מחייב מעבר לאנרגיות מתחדשות;
- התמודדות עם תהליך מתמשך של הקטנת זמינות קרקע חקלאית פנויה כתוצאה משינויי האקלים מאיץ תהליכים של מדבור, התחממות, ושינוי במשקעים;
- מתן פתרון להפחתה בכמות המים הזמינה לחקלאות הגורמת לעליה במחיר המים בכלל, ולחקלאות בעל בפרט.

Agricultural land uses have declined since 1949



Special-use areas include rural parks and wilderness areas, rural transportation, defense/industrial lands, and farmsteads.

Source: USDA, Economic Research Service calculations based on data from *Major Uses of Land in the United States, 2007*.

איור 1. תרשים המלמד על הקטנה מתמדת של שטחי החקלאות בעולם. שטחים רבים שנחשבו כשטחים חקלאיים אינם ניתנים לשימוש חקלאי כתוצאה מהקטנת שטחי היערות והעברת שטחי חקלאות נרחבים לשימושי קרקע שונים.

האתגר המשולש בא לידי ביטוי בשטחים החקלאיים בישראל, בשלוש דרישות סותרות:

- עמידה ביעדי הממשלה ל 2030/2050 למעבר לשימוש באנרגיות מתחדשות, מצריכה הקצאת שטח של כמיליון דונם עבור מתקנים סולאריים;
- השפעת שינויי האקלים על החקלאות מובילה באופן מתמיד להקטנת השטח הזמין לגידולי בעל;

- הקטנת כמות המים הזמינה לחקלאות אינה מאפשרת הסבת שטחי בעל לשטחי שלחין.

חקלאות הבעל בישראל מרוכזת בשטחים גדולים בצפון הנגב. באזורים מדרום לקרית גת, שבהם כמות המשקעים הרב שנתית הממוצעת פחותה מ- 300 מ"מ, שנות הבצורת מופיעות בתדירות גבוהה, כ- 50% מהשנים הן שנות בצורת. תדירות הבצורת הולכת ומחמירה עם שינויי האקלים וההתחממות העולמית ומגמה זאת אף צפויה להתעצם בעתיד. באזורי גידול אלה, אין תוחלת כלכלית לגידולי בעל אלא אם כן תינתן תמיכה כספית ממשלתית בצורה של פיצוי בצורת.

הצורך בכמות עצומה של שטחים להקמת תחנות כח מבוססות אנרגיה מהשמש הוביל את רוב מדינות העולם לפתרון של דו-שימוש בקרקע. כלומר, במקביל לגידול החקלאי מוקמות מערכות סולאריות [ראה איור 2]. ברוב המקרים הפאנלים הסולאריים מוקמים בגובה רב [4 – 6 מטר] כדי שלא תהיה מגבלת מעבר כלים חקלאיים. אילוץ זה מייקר משמעותית את עלות המערכת ומקשה להתמודד עם הפן הפיננסי של הפתרון האגרו-סולארי. לכן פתרונות בסביבת חקלאות בעל יתאפיינו בקונסטרוקציות נמוכות בהרבה, אך כמובן יצטרכו להתמודד עם הצורך של החקלאי בפעילויות שונות בשדה (חריש / זריעה / קצירה וכו').



איור 2. פתרונות קיימים של דו שימוש בקרקע -מערכות סולאריות במקביל לעיבוד החקלאי של הקרקע.

- 1) [Huawei promotes the world's largest agro-photovoltaic project - WoodMe,](#)
- 2) [An inclusive, rural European Green Deal through agrisolar – pv magazine International \(pv-magazine.com\)](#)

הפתרונות הקיימים כיום מתמקדים לרוב באזורים הנהנים מכמות גשמים שנתית גבוהה ו/או באזורים חקלאיים מושקים. כמו כן, מכיוון והמערכות הסולאריות צורכות קרינה רבה, יש לדלל את כמות הפאנלים כך שכמות הקרינה לגידול החקלאי לא תרד מרמה מסוימת העלולה לפגוע בכמות ואיכות הגידול החקלאי. על מנת למקסם את כמות הפאנלים ומיקומם יש לשנות את השיטות החקלאיות הנהוגות כיום. מדובר בתהליך ארוך העשוי לייקר את הוצאות החקלאים.

1.1 יישום רצועות אגני קליטת מים בשטחי גידול בעל של חיטה ליעול התפוקה החקלאית

חיטה היא מהגידולים החקלאיים במשפחת הדגניים החשובים ביותר בעולם, המספקת כ- 25% מכלל צריכת הקלוריות והחלבונים של האדם. מחסור במים הוא הגורם המרכזי המגביל את הצימוח ואת כושר הייצור הפוטנציאלי של גידולים חקלאיים רבים, ביניהם חיטה. יכול גרגרי חיטה המעובדת כגידול בעל הניזון מגשם, תלוי בכמות המים הזמינה לצמח. כדי לאפשר נביטה והתפתחות תקינה של הצמח נדרשת

כמות מינימלית של מים, כשכל כמות נוספת של מים לאורך העונה עשויה לתרום לעלייה ביבול, בעיקר באזורים צחיחים. ההסתברות לאובדן יבול בשנות בצורת גבוהה - גם אם היא מתונה, חמורה, או קיצונית, אך אובדן היבול גבוה יותר בבצורת קיצונית ויוצאת דופן. גם לטמפרטורות גבוהות הגורמות להתאדות יש תפקיד חשוב בקביעת השפעות הבצורת על יבול (Leng and Hall., 2013)¹. מרכיבי יבול המושפעים ביותר ממחסור במים כוללים: מספר השיבולים לשטח ומספר הגרגרים בשיבולת, כמו גם משקל של 1,000 זרעים (TKW) וכמובן תכולת חלבון בגרגרים (GPC). הצפי לשינויי האקלים, שעשוי להעלות הן את הטמפרטורות והן את תדירות אירועי שנות הבצורת, עלול לגרום לירידה משמעותית ביבול וברווחיות הכלכלית לחקלאים, במיוחד באזורים יבשים כמו הנגב הישראלי. חשוב לציין שזני החיטה הישראליים המותאמים לאקלים הישראלי מראים מדד קציר גבוה יותר ו-TKW גבוה גם בעת מחסור במים.

בשטחי הבעל בצפון הנגב מקובל להעריך שהיחס בין יבול הגרגרים למשקעים הוא בסביבות 1:1 (Limon-Ortega et al., 2012)². כלומר, בשנה שבה כמות מי הגשמים היא 250 מ"מ גידולי החיטה צפויים להניב כ- 250 ק"ג גרגרים לדונם. מחיר החיטה בישראל ב-10 השנים האחרונות הוא כ-1000 ₪ לטון, מכאן שבאזור צפון הנגב ההכנסה הצפויה מגידול חיטה הינה כ-200 – 250 ₪ לדונם. במקביל, תחשיב ההוצאות לגידול חיטה מסתכם בסך של כ-275 ₪ לדונם. מכאן שביבול קטן מ-275 ק"ג לדונם המשך גידול חיטה יכול להיות מעשי מבחינה כלכלית רק כאשר ניתן לקבל פיצוי מכספי המדינה.

אם היה ניתן להעלות את כמות המים הזמינים לצמח על ידי לכידה והסתת מי הגשם מחלקה בה לא גדלה חיטה לחלקה סמוכה עם גידול חיטה, היבול צפוי לגדול בהתאם. בהנחה שיחס כיסוי הקרקע הוא כ-50% ויעילות לכידת מי הגשם ופיזורם לשטח הגידול קרובה ל-100%, אזי העלות היחסית של ייצור החיטה תפחת מבלי לפגוע בתנובה. קביעת היחס (P) בין רצועות גידול חיטה לבין רצועות המיועדות לקליטת המים (אגן היקוות) תלויה בכמות המשקעים הממוצעת באותו אזור גאוגרפי. באזור בו כמות גשמים נמוכה יותר, יתבקש יחס P יותר קטן על מנת להסיט יותר מים מאגני קליטת המים.

ניצול אגני היקוות וניצול מי נגר לייעול צריכת המים בתוך השדה באים לידי ביטוי מיטבי, למשל, בגידול הבוסתנים ביער יתיר³ שבו ממוצע הגשמים הרב שנתי עומד על פחות מ-250 מ"מ, או במקרה של אגני היקוות הסמוכים לאזור העיבוד כפי שבאה לידי ביטוי בלימנים בנגב (תפיסת מי נגר ובניית סכרים ללכידת המים). שיטה זאת של תיעול מי הנגר מאזור סמוך (במעלה הגבעה או מניקוז בכבישים) והובלת המים למערכת השקיה פתוחה (תעלות) נפוצה בעולם במיוחד באפריקה. בישראל, השיטה המקובלת ללכידת מי נגר היא תיעול המים בחורף למאגרים ושימוש במים להשקיה בקיץ.

2 שיטת טריגו לחקלאות בעל [בהליך רישום פטנט]

שיטת טריגו מבוססת על ניצול משותף של השטח לטובת שיפור הגידול החקלאי ולטובת הקמת מערכת עם פנלים סולאריים להפקת אנרגיה.

- היקף הקרקע החקלאית בישראל, המבוסס על חקלאות בעל הינו כ-750,000 דונם מתוך שטח חקלאי של כ-4.1 מיליון דונם בכל הארץ.
- שטח נרחב של חקלאות הבעל מרוכז בצפון הנגב, שם כמות המשקעים נמוכה יחסית, ממוצע של כ-200 ל-300 מ"מ בשנה בלבד.
- רמת משקעים זו תנודתית מאד (שונות עונתית גבוהה) ולמעשה בצפון הנגב נרשמת בצורת כל שנה שנייה עד כל שנה רביעית כתלות במיקום הגיאוגרפי.

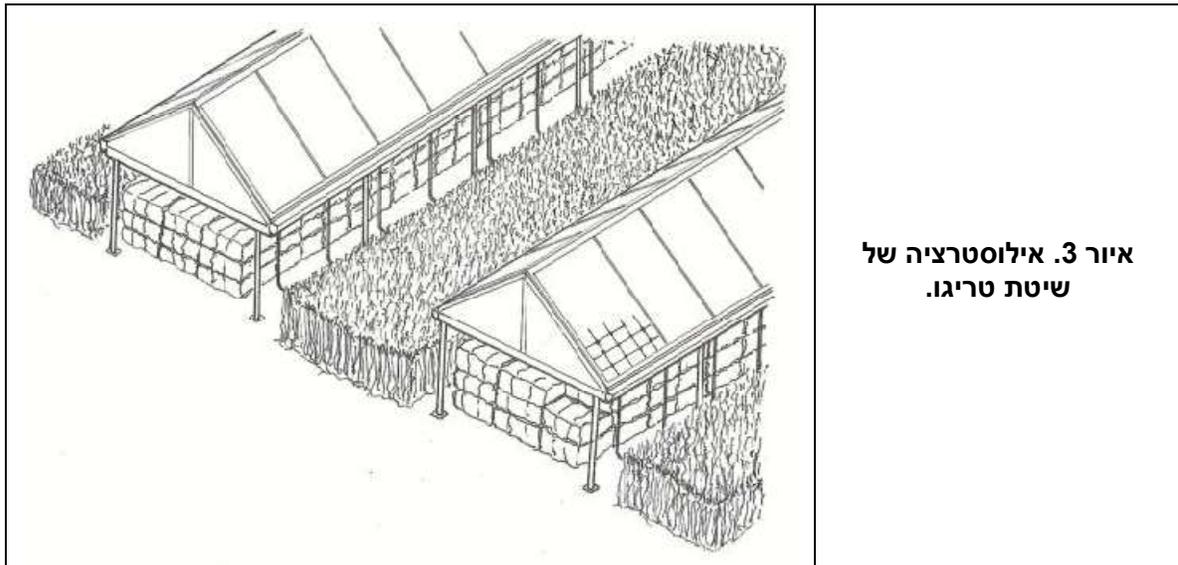
- דרומית לאזורי החקלאות הנ"ל נמצאים שטחים נרחבים המאופיינים בכמויות משקעים הנמוכות מ-200 מ"מ, שאינם כלכליים לגידולי בעל.
- מאחר וכמות המשקעים נמוכה, קיים סיכון שתנובת החיטה ואיכותה יהיו ברמה נמוכה ולכן חקלאים רבים נוהגים לקצור את החיטה טרם מילוי הגרגר, לשחת או תחמיץ להזנת בעלי חיים.
- בנוסף, במידה וקיימת דרך להגברת כמות המים הזמינים לגידול אזי כמות היבול GY תגדל, ויותר מכך, ניתן יהיה לעבד חיטה לצורך יבול של גרגרים ולא יבול של מספוא הפחות ריווחי.

השיטה כוללת חלוקת השדה לרצועות לגידול ועיבוד חיטה לסרוגין, כאשר כל רצועה המיועדת לגידול חיטה צמודה מימינה ומשמאלה לרצועה עם פנלים סולארים [ראה איור 4]:

- **רצועות גידול חיטה:** מצפון לדרום [לדוגמה – ברוחב 18 מטר].
- **רצועות סולאריות:** מצפון לדרום [ובין רצועות גידול החיטה] שבהן תוקמנה מערכות PV ליצירת חשמל סולארי.

קליטה והסטת מי הגשם היורדים על הפאנלים הסולאריים אל שטח הגידול החקלאי תגביר את כמות המשקעים האפקטיבית המזינה את השטח החקלאי כיחס השטחים (איור 3). לדוגמא, אם רוחב שני סוגי הרצועות זהה כמו בדוגמה לעיל [18 מ'], כמות המשקעים למ"ר תוכפל. אם לחילופין יוחלט על יחס של 2:1 כלומר 18 מטר של שולחנות PV ו-36 מטר של גידול חיטה, אזי כמות המשקעים צפויה לגדול ב-50%.

כדוגמא ריאלית (איור 3): בהסתכלות ממזרח למערב, בחלקת שדה מסוים רצועה סולארית (שולחן PV) תמוקם ב-18 מטר הראשונים, לאחר מכן רצועה סמוכה של גידול חיטה, וכך הלאה לכל רוחב השדה.



איור 3. אילוסטרציה של שיטת טריגו.

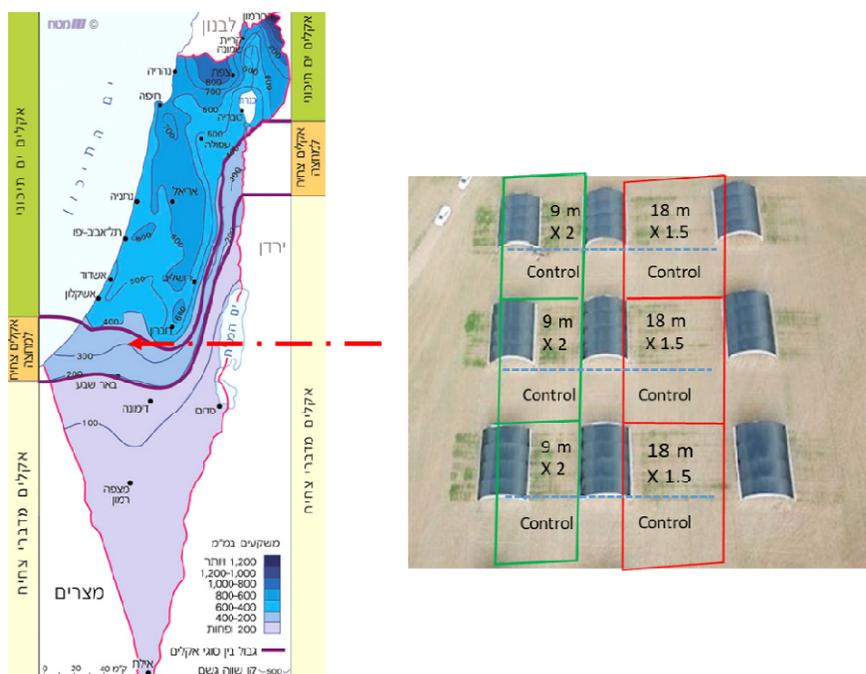
שיטת טריגו כוללת:

- מערכת סולארית הפרוסה מצפון לדרום כאשר הפאנלים הסולאריים מונחים בצורת V הפוך ומאפשרים הסטת כמחצית ממי הגשם לצד מזרח של השולחן הסולארי והיתרה לצד המערבי.
- מערכת איסוף מים [מרזבים] בצידו המזרחי ובצידו המערבי של השולחן הסולארי.
- צנרת מים המבוססת על צנרת השקיה לפיזור המים לתוך שטחי גידול החיטה הסמוכים.

בדוגמה שצוינה לעיל [18 מטר עבור מערכת סולארית ו-18 מטר עבור שטח גידול חיטה] כמות המים שאזורי גידול החיטה יקבלו תוכפל, ולכן ניתן לקצור שגם היבול [מספוא או גרגרים] יוכפל ואף מעבר לכך. אנו צופים שבנוסף להגדלת יבול, גם איכות הגרגרים תשתפר.

3 תיאור הניסוי בשדות קיבוץ להב

בשיטת טריגו כ 50% מהקרקע משמשת לעיבוד והשאר עבור פאנלים סולאריים המשמשים לייצור אנרגיה. הפאנלים ישמשו גם לאיסוף והסטה של מי גשמים לחלקות גידול החיטה. כדי לאמת את ההשערה העומדת בבסיס שיטת טריגו, הקמנו מערך ניסוי לבחינת התכנות (proof of concept) בשטחי קיבוץ להב (איור 4). בניסוי זה הקמנו מנהרות חקלאיות סטנדרטיות ברוחב של 9 מטר, אשר פרוסות מצפון לדרום. המנהרות משמשות כהדמיה של מערכות פאנלים סולאריים לצורך איסוף ווחלוקת מי הגשמים לרצועות הגידול של החיטה. נבדקו שני סוגי מרווחים עבור גידולי החיטה: 9 מטר ו-18 מטר (בכיוון מזרח-מערב) והניסוי נערך בשלוש חזרות. נבדקה האפשרות לשמר את תנובת החיטה ואיכותה על אף צמצום שטח הגידול החקלאי. מעבר לכך, חשוב לציין שבנוסף להכנסות מגידול חיטה, החקלאים יוכלו לייצר חשמל סולארי ולהנות מהכנסה כפולה: חיטה + חשמל.



איור 4. מערך הניסוי בשטח קיבוץ להב. חלקות הבקרה משמשות לגידול חיטה סטנדרטי; חלקת ה-פי-1.5 הינה חלקה שבה שטח רצועת הגידול הוא 18 מ' (כפול משטח הרצועה הסולארית); חלקת ה-פי-2 הינה חלקה בה שטח רצועת הגידול הינו 9 מ', שווה לרוחב הרצועה הסולארית.

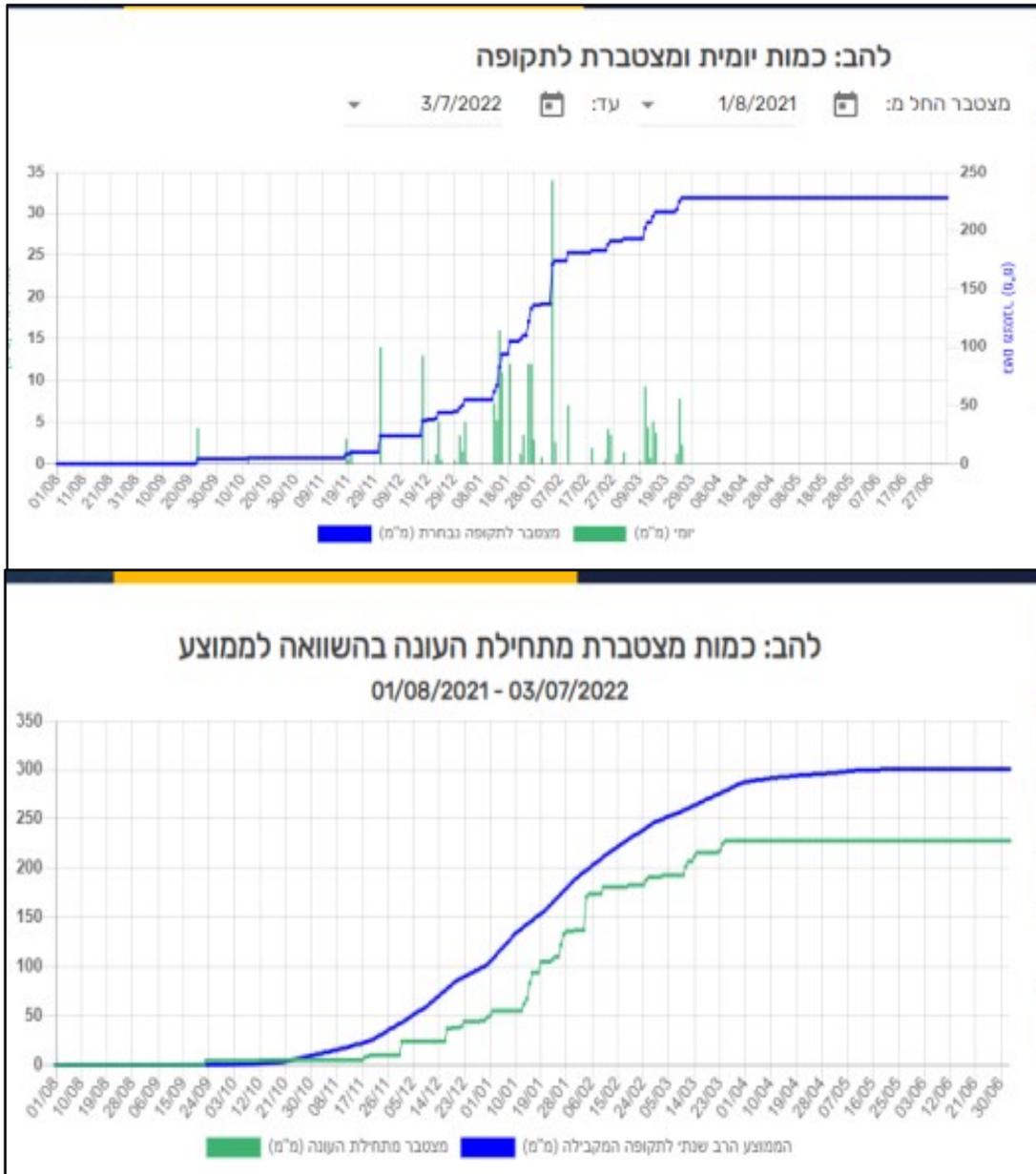
הוגדרו 12 חלקות גידול:

- 3 חזרות עבור חלקות עם מרווח של 9 מטר [הגברת מים פי-2] להלן יקראו **חלקות פי-2**
- 3 חזרות עבור חלקות עם מרווח של 18 מטר [הגברת מים פי-1.5] להלן יקראו **חלקות פי-1.5**
- 6 חזרות עבור חלקות ביקורת (3 עבור מרווח של 9 מטר, ו 3 עבור מרווח של 18 מטר)

זריעה: חלקות הניסוי נזרעו במזריעת חיטה ברוחב 8 מטר.

דישון: יחד עם הזריעה ניתן דשן חנקן (N) כאוריאה גרגרית (2 ק"ג N/דונם) וזאת כדי לוודא שחנקן לא יהפוך לגורם המגביל בשיפור הפוטנציאלי של התנובה ואיכותה. דישון נוסף ניתן (ב-9 בפברואר) בשתי רצועות ברוחב 2 מ' בכל חלקת ניסוי, על ידי ריסוס תמיסת אוריאה של 16% (מעורבב עם 50% מים). תוספת זאת הגדילה את החנקן בכ-4 X יחידות של חנקן.

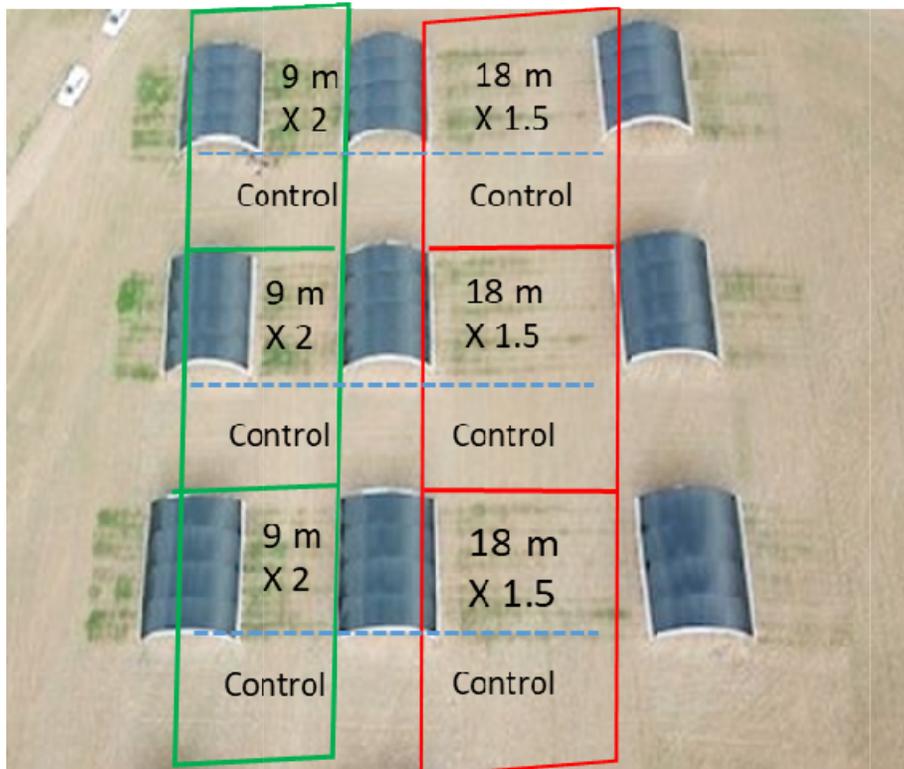
כמות המשקעים השנתית שנמדדה בתחנת להב בשנת 2022 הייתה 228 מ"מ שהם 76% מהמוצע הרב-שנתי. חלקת הניסוי נמצאת כ 1 ק"מ מזרחית לתחנת להב למדידות מטראולוגיות ולכן סביר שכמות המשקעים בחלקת הניסוי הייתה מועטה יותר.



איור 5. כמות גשם מצטברת, ופיזורי מי הגשם לאורך העונה מהלך חורף 2021-2022. נמדד בתחנת להב של השירות המטאורולוגי.

4.1 כמויות מים והשפעתם על הצצה של הנבטים.

הצצת נבטים: הזריעה בוצעה ב- 16 בנובמבר. בשתי סוגי החלקות הניסיוניות (פי-2 ופי-1.5) נרשמה הצצה חלקית של נבטים (איור 6) בעיקר לאורך צינורות ההשקיה. בחלקות הביקורת לא נצפתה הצצה גם אחרי 14 יום, ונצפתה כמעט חודש לאחר הנביטה של חלקות הניסוי. הנביטה לא היתה אחידה בחלקות הניסוי בשל חלוקה לא שווה של מים מהמנהרות לאזורי גידול החיטה. בנוסף, חלוקת המים (איור 6) לא היתה אחידה מכיוון שבשטח היה שיפוע קל ממזרח למערב. בצילום שנעשה על ידי רחפן ב- 4 בינואר ניתן לראות את חוסר האחידות בנביטה בחלקות הניסוי ואת חוסר הנביטה בחלקות הביקורת.



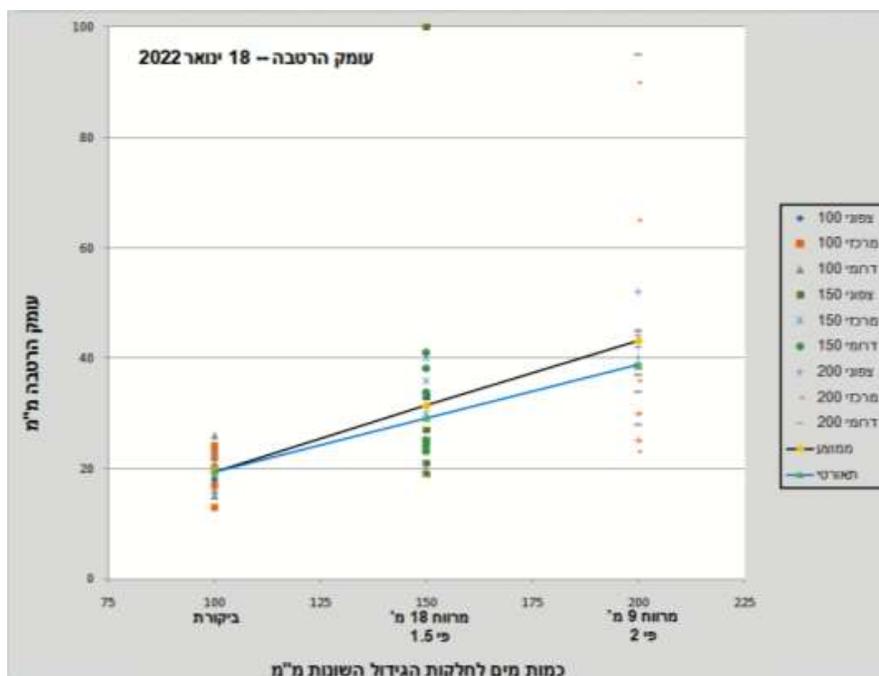
איור 6. צילום רחפן של הניסוי ב- 4 בינואר 2022 כחודש וחצי לאחר הזריעה.

4.2 עומק ההרטבה בקרקע

עומק ההרטבה בקרקע, שנמדד לראשונה ב-4 בינואר, היה כ-30 ס"מ לעומת עומק ההרטבה בחלקות הביקורת שהיה כ-6 ס"מ. שונות גבוהה בעומק הרטבה נמדדה בתוך חלקות הניסוי ובעיקר בחלקות פי 2.

המדידה ב-18 בינואר, הראתה כי עומק המים היה סביב 30 ס"מ ו-40 ס"מ בחלקות פי 1.5 ופי 2, בהתאמה, לעומת 20 ס"מ בחלקות הביקורת.

כמות המשקעים המצטברת ב-18 בינואר היתה כ-100 מ"מ. בהנחה שהסטת המים הייתה אופטימלית, החלקות בנות פי 1.5 קיבלו כמות כוללת של 150 מ"מ וחלקות פי 2 קיבלו כמות כוללת של 200 מ"מ מים. יעילות הגשמים בתקופה זו (נובמבר-ינואר) הייתה נמוכה מאוד בשל אירועי גשם מעטים שלא תרמו רבות לעומק ההרטבה. בנוסף, הטמפרטורות היו גבוהות מהמוצע וגרמו לאידוי גבוה יותר של מים מהקרקע.

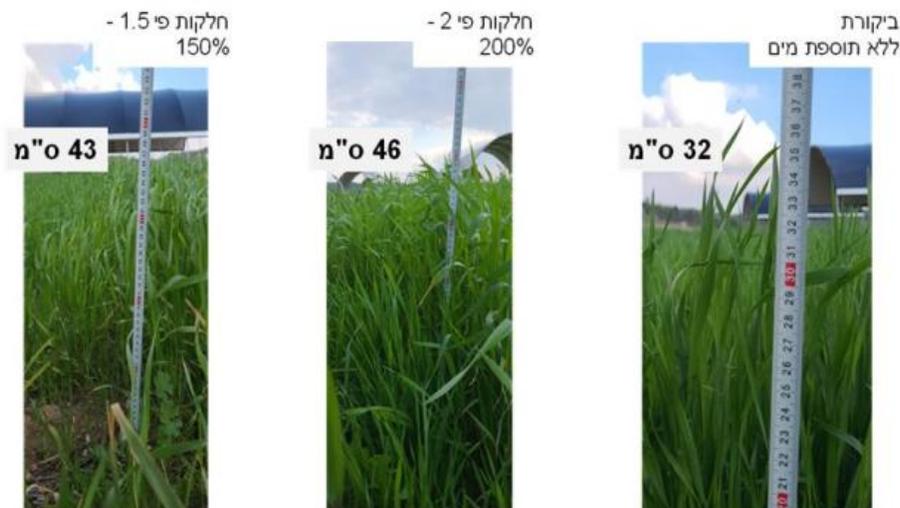


איור 7. תמונות בחלק העליון: מדידת חזית הרטבה של הקרקע, גרף בחלק התחתון: עומק ההרטבה כתלות בכמות המים לחלקות הגידול השונות.

4.3 גובה צמח ומועד השתבלות

גובה הצמחים נמדד ב-15 בפברואר.

גובה צמח כ - 32 ס"מ	חלקות ביקורת
גובה צמח כ - 46 ס"מ	חלקות פי 2.0
גובה צמח כ - 43 ס"מ	חלקות פי 1.5



בתחילת-אמצע מרץ ניתן היה לראות השתבלות בכל חלקות הניסוי. נציין שההשתבלות שהתחילה כבר בתחילת פברואר, התאפיינה בחוסר אחידות בתוך כל חזרה. השתבלות החיטה בחלקות הביקורת נצפתה רק בסוף מרץ.

4.4 תוצאות יבול : מספוא ויבול גרגרים

4.4.1 קציר מספוא

ב- 4 באפריל קצרנו שחת למספוא 6 פסי קציר ברוחב של 1 מ' (בכל חזרה קצרנו 2 פסים) לכל סוגי הטיפול והביקורת. השחת נשקלה 3 ימים לאחר הקציר זאת על מנת להפחית את הלחות לרמה המקובלת.

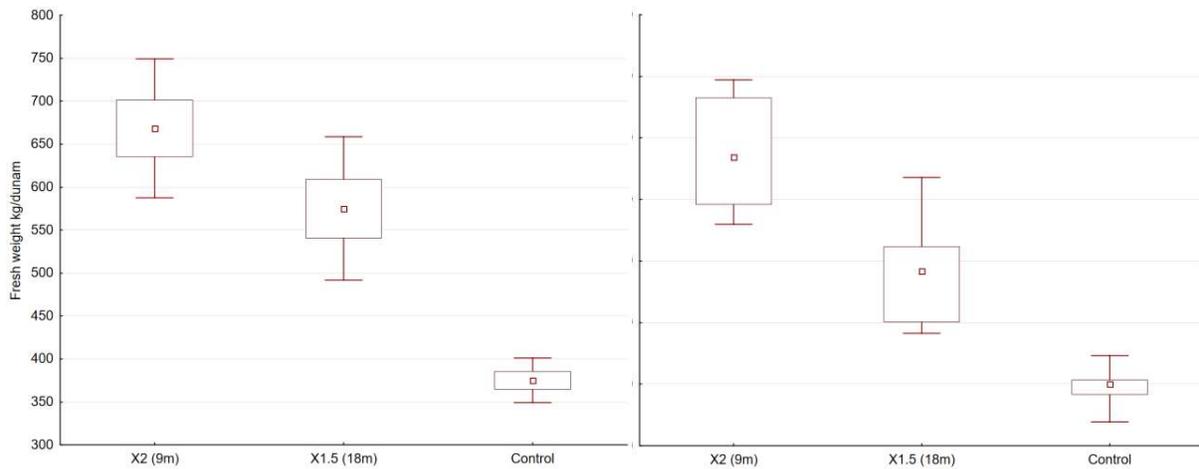
בדיקת השפעת דישון חנקני על יבול המספוא הוערכה על יד קציר ידני של 0.25 מ"ר בכל חזרה בניסוי, והשוואה ל 0.25 מ"ר של שטח ביקורת צמוד. לא התקבלה השפעה כלשהי לתוספת הדשן המאוחרת באף אחד מהטיפולים.



איור 8. (1) קציר למדידת משקל חומר רטוב/יבש לשחת; (2) חלקה עם תוספת מים; (3) חלקת ביקורת. כל הצילומים צולמו באותו יום.

הניתוח הסטטיסטי מראה שקיים הבדל מובהק במשקל השחת (רטוב ו/או לאחר ייבוש) בין חלקות פי-2 לבין חלקות פי-1.5 ולבין הביקורת.

ממוצע חומר צמחי [ביו-מסה] – הגדלת כמות מי גשם לעומת שטחי ביקורת			
חומר רטוב	חומר יבש		
פי 1.78	פי 1.78	כמות מים פי 2	חלקות פי 2 (9 מ')
פי 1.5	פי 1.42	כמות פי 1.5	חלקות פי 1.5 (18 מ')



איור 9. התפלגות משקל השחת בחלקות פי 2 ופי 1.5. תרשימי קופסה (boxplot) של חלקות ניסוי לעומת הביקורת: משמאל - יבול שחת ירוק, ו-מימין - יבול חומר יבש.

4.5 תוצאות קציר הגרגרים

4.5.1 קציר ידני של שיבולים בודדות (נתונים 1-5)

הניסוי כאמור כלל שלוש חלקות של 18 מ' [כמות מים פי 1.5 ממי הגשם] ושלוש חלקות של 9 מ' [כמות מים פי 2 מ' הגשם], ולכל קבוצה יש שלוש חלקות ביקורת צמודות באותו הגודל.

נקצרו 6 שיבולים מ 4 פסים (2 עם דשן ו 2 בלי דשן) בכל חלקת ניסוי/ביקורת - בסך הכל 24 שיבולים.

חלקות ניסוי וביקורת 2 X [בגודל 9 מ'] נקראו : T1/C1 T2/C2

חלקות ניסוי וביקורת 1.5 X [בגודל 18 מ'] נקראו : T3/C3, T4/C4, T5/C5 .

הערה: בסוף העונה הטיפול השלישי של חלקות 2 X והביקורת נקצרו על ידי גנבים. כתוצאה מכך לא היה מספר שווה של חזרות לכל טיפול. האופן שבו ניתחנו את התוצאות היה על ידי מבחן T שנערך לכל טיפול והיקש שלו (למשל C1 vs. T1).

המדידות שנערכו לפי 5 שיבולים כלול:

1. משקל שיבולת (spike weight SW).
2. משקל הגרגרים לאחר קילוף (seed weight t).
3. מספר גרגרים לשיבולת (seed number/spike).
4. משקל אלף גרגרים (TKW).
5. כמות החלבון בגרעין (GPC).

המדידות שנעשו לפי קציר החלקה בקומביין:

1. משקל גרגרים למטר מרובע (GY),
2. משקל נפחי (Hectoliter).

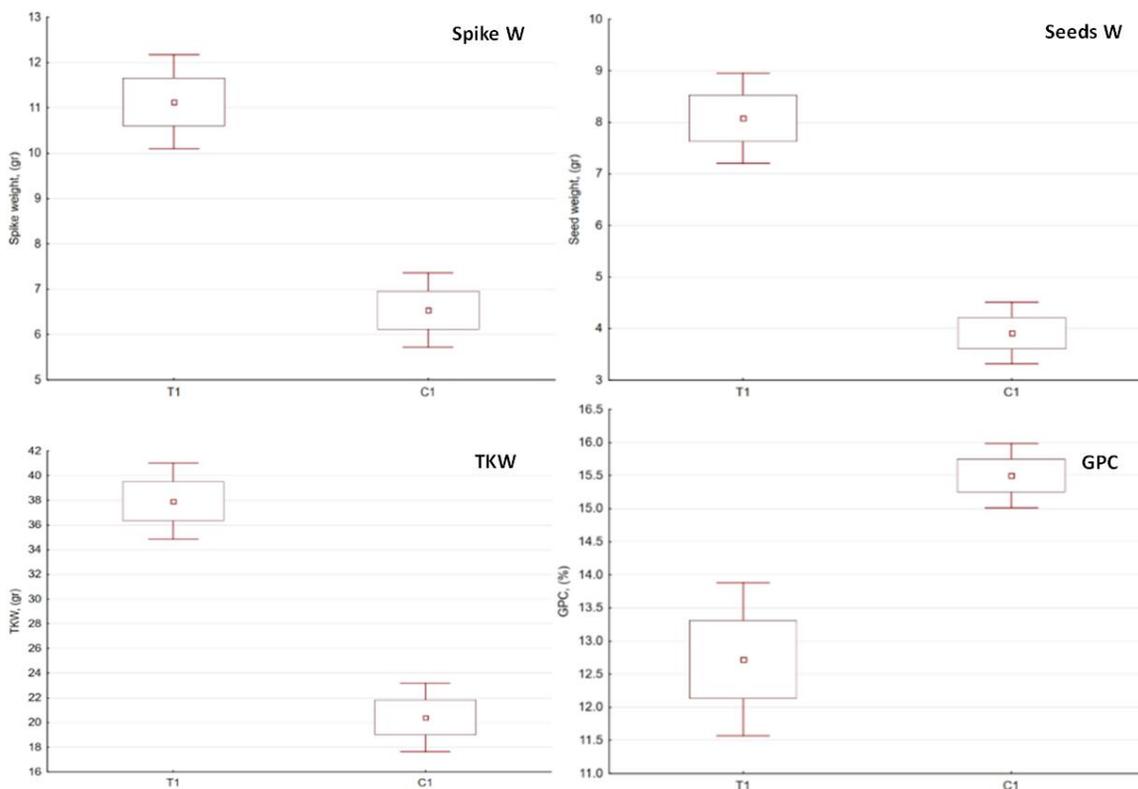


איור 10. מפת החלקות שנקצרו בסוף העונה (18 במאי 2022).

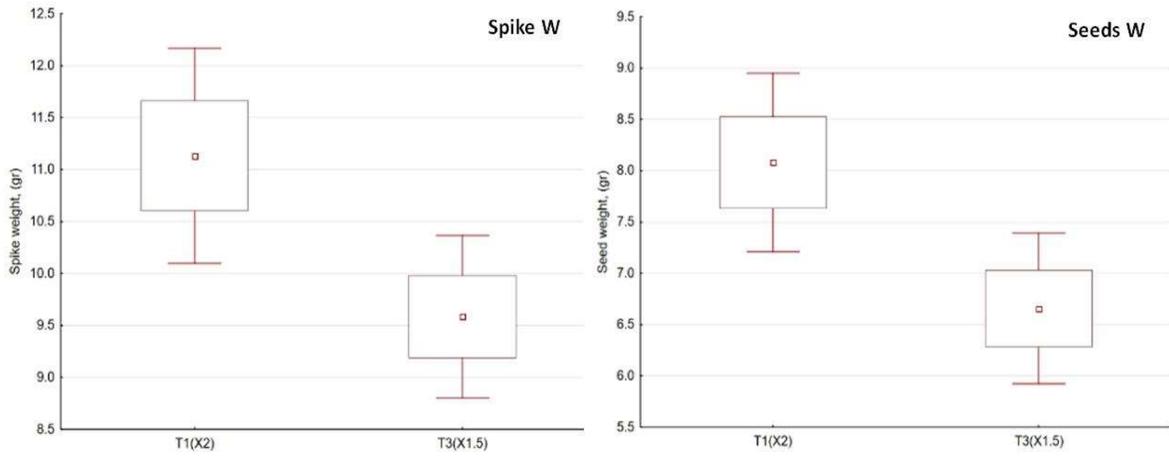
חלקות פי-2: רוחב 9 מ' - חלקות T1/C1, T2/C2

חלקות פי-1.5: רוחב 18 מ' - חלקות T3/C3, T4/C4, T5/C5.

1. לא היתה השפעה לדישון של חנקן על היבול GY בכל הזוגות שהשוו, עבור שני סוגי החלקות הניסוי (פי-1.5 ופי-2) בהשוואה לחלקות הביקורת הצמודות להן, נמצא הבדל משמעותי בשלושה מתוך ארבעה מדדים (למעט מספר הגרגרים לשיבולת שלא היה משמעותי). השוואה בין T1 ל-C1 ניתן לראות באיור 11.
3. הבדלים בין סוג חלקות הניסוי: הבדל מובהק במשקל גרגרים ($p < 0.05$) והבדל לא מובהק במשקל שיבולת ($p = 0.059$) התקבלו רק בין חלקת T1 ו-T3 (ראו איור 13), בעוד שההבדל בין חלקות 4 ו 2 לא היה מובהק.
4. כמות החלבון בגרגר (GPC) - מגמה של ירידה נראתה בכל חלקות הגידול מול חלקות הביקורת. אך רק ב T1/C1 ו-T5/C5 ההבדל היה מובהק סטטיסטית. כמות החלבון הגבוהה בחלקות הביקורת מצביעה על גרגרים מצומקים. יש לציין שרמת החלבון בכל יחידות הניסוי הינה בין 12.5 ל- 13.5 שהן רמות מקובלות.
5. שונות נראתה עבור Spike W, Seeds W, TKW, ו-GPC בחלקות פי 2 ופי 1.5 יותר מאשר בחלקות הביקורת. עבור מספר הגרגרים לשיבולת חלקות הביקורת הראו שונות גבוהה יותר.



איור 11. דוגמא להשוואה בין טיפול וביקורת של T1 / C1: (1) מדידות משקל שיבולת [spike weight], (2) משקל גרגרים לשיבולת [grain weigh per spike], (3) משקל אלף גרגרים [TKW], (4) אחוז חלבון בגרגר [GPC].



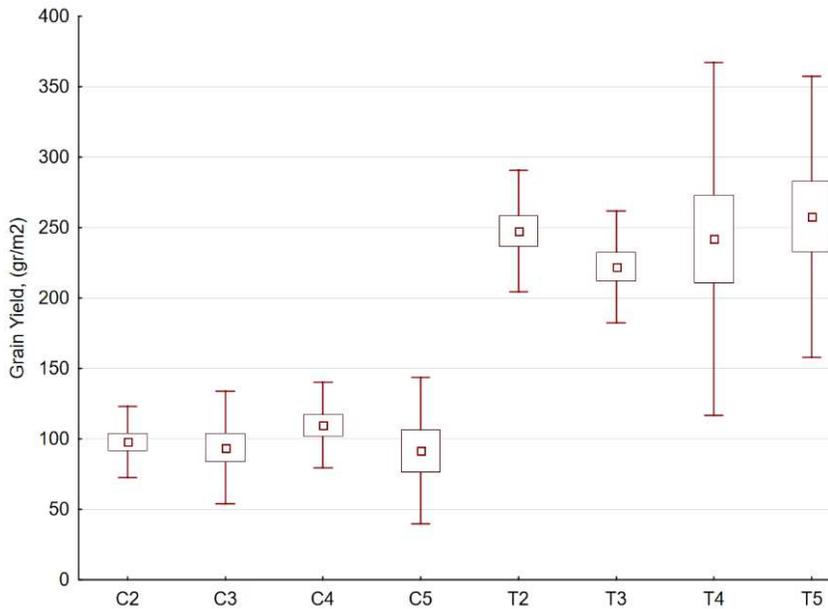
איור 12. הבדל יבול בין חלקות 9 מ' (T1) ו-18 מ' (T3), המראה ייתרון לחלקת 9 מ' (פי 2).

4.5.3 יבול גרגרים (קציר קומביין) ומשקל הקטוליטר

תוצאות יבול הגרגרים (GY) מראים בבירור שהיבול בחלקות פי 2 וחלקות פי 1.5 היה גבוה באופן מובהק מחלקות הביקורות.

הערה: בחלקות T1 ו-C1 התקבלו ערכים נמוכים של משקל גרגרים והם גם שונים מכל השאר, ובנוסף גם שונים ביניהם. אנו מעריכים שזה נבע מהעשבים (שעורה מכחילה) שהיו בחלקות אלה.

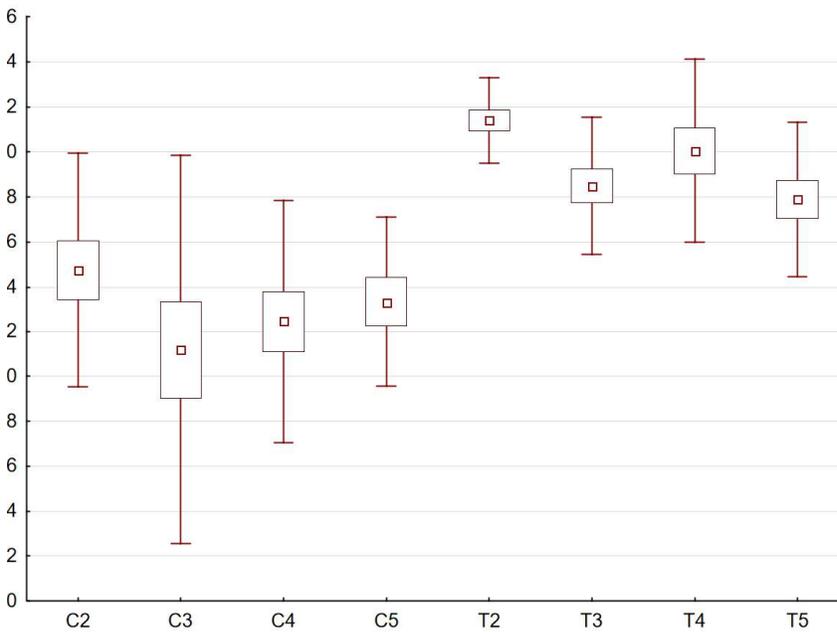
לא נמצא הבדל מובהק ביבול גרגרים בין חלקות פי 2 (מרווחים 9 מ') וחלקות פי 1.5 (18 מ') (ציור 13).



איור 13. יבול גרגרים בין חלקות פי 2 ו פי 1.5 וחלקות הביקורת עם הניתוח הסטטיסטי

(ללא תוצאת חלקות C1/T1 המהוות ערכי קיצון נמוכים).

ממוצע יבול גרגרים (ק"ג/דונם) – הגדלת כמות מי גשם לעומת שטחי ביקורת				
יחס הגדלה	יבול גרגרים בתוספת מים	יבול גרגרים ביקורת		
2.5	248	97	כמות מים פי 2	חלקות פי-2 (9מ)
2.33	241	103	כמות מים פי 1.5	חלקות פי-1.5 (18מ)



איור 14. משקל הקטוליטר בין חלקות הביקורת והטיפול עם הניתוח הסטטיסטי.

בתנאים של משקעים נמוכים, עודף חנקן עלול לגרום לפגיעה במשקל הגרגר GY ובהקטוליטר. בניסוי שלנו לתוספת של N הייתה השפעה מסוימת על משקל ההקטוליטר בחלקות הבקרה, אך הנזק לא היה מובהק סטטיסטית. ההפרש היה משמעותי (71.6 לעומת 74.1) אך כאמור לא מובהק סטטיסטית עקב השונות בחלקה (גורם העשבייה בעיקר).

בנגב מגדלים חיטה באזורים בהם כמות המשקעים השנתית הינה 200-300 מ"מ בשנה. השונות הגבוהה בין השנים ברמת המשקעים אינה מבטיחה יבול יציב, ולכן לעיתים קרובות השטחים נקצרים למספוא מחשש לאיכות נמוכה של מילוי הגרגירים. תדירות השנים היבשות בעשורים האחרונים, מאיימת על הרווחיות הכלכלית של גידול חיטה באזורים אלה. חקלאים ממשיכים לעבד את שטחי חקלאות הבעל רק הודות לפיצויים המתקבלים מכספי המדינה, אשר מגינים על כלכליות גידול חיטה מפני הפסדים בשנות בצורת. בנוסף תוספת מים בהשקיה לגידולי חיטה ברוב השטחים המדוברים היא לא מציאותית, עקב ריחוק שטחים ממקורות המים, מכסות מים, ועלויות ציוד ועבודת ההשקיה.

מטרת הניסוי הייתה להראות ששיטת טריגו המשלבת מערכות סולאריות בחקלאות בעל מאפשרת הסטת מי גשמים אל שטחי גידול החיטה, מעלה את כמות המים הזמינים לצמח ועל ידי כך את תנובת החיטה.

תוצאות הניסוי שערכנו הראו שיבול השחת (משקל חומר רטוב וגם חומר יבש) בשני סוגי החלקות היה גבוה באופן מובהק לעומת חלקות הביקורות. כמות מים של פי 2 גרמה לתוספת של פי 1.78 בכמות השחת היבש וגם הרטוב. כמות מים של פי 1.5 גרמה לתוספת של פי 1.5 בחומר הרטוב ופי 1.42 בחומר היבש.

ממוצע חומר צמחי [ביו-מסה] – הגדלת כמות מי גשם לעומת שטחי ביקורת			
חומר רטוב	חומר יבש		
פי 1.78	פי 1.78	כמות מים פי 2	חלקות פי 2 (9 מ')
פי 1.5	פי 1.42	כמות פי 1.5	חלקות פי 1.5 (18 מ')

השיפור ביבול גרגרים נבדק על ידי קציר מדגמי של שיבולים וגם על ידי בחינת היבול שנקצר מכל החלקה. נתוני הקציר המדגמי הראה שקיים הבדל בין שני שטחי הגידול עם כמות מים מוגברת ובין שטחי הביקורת שלהם (בדומה למשקל השחת). בהשוואה בין שתי חלקות עם כמות מים מוגברת של פי 2 ופי 1.5 ראינו שכצפוי התנובה בחלקה עם פי 2 מים (T1) הייתה עדיפה מאשר זו עם פי 1.5 (T3). גם קציר גרגרים ומשקל הקטוליטר בכל החלקות הראו באופן מובהק תוצאות עדיפות בשטחי הגידול עם כמות מים מוגברת. ביבול הגרגרים למ"ר לא ראינו הבדל מהותי בין חלקות שהושקו בפי 2 מים לבין חלקות שהושקו בפי 1.5 מים.

ממוצע יבול גרגרים (ק"ג/דונם) – הגדלת כמות מי גשם לעומת שטחי ביקורת				
יחס הגדלה	יבול גרגרים בתוספת מים	יבול גרגרים ביקורת		
2.5	248	97	כמות מים פי 2	חלקות פי-2 (9 מ')
2.33	241	103	כמות מים פי 1.5	חלקות פי-1.5 (18 מ')

יש לציין שבאזורי גידול אלה לעיתים קרובות השדות נקצרים למספוא, עקב מיעוט משקעים בתקופת מילוי הגרגרים בשיבולת. במצב כזה החקלאי צופה שיבול הגרגרים ואיכותם יפדו בתמורה נמוכה יותר לעומת המספוא.

בניסוי הראנו שבשיטת טריגו ניתן להפיק משדות החיטה גם מספוא וגם שיבולים ברמת איכות טובה. כלומר, הקטנת שטח הגידול החקלאי לטובת פאנלים סולאריים והסטת מי הגשם מהפאנלים הסולאריים לשטחי הגידול לא פוגעת לחלוטין בתנובה החקלאית יותר מכך, באמצעות שיטת טריגו ניתן לנצל שטחים נרחבים להקמת מערכות סולאריות ליצירת חשמל במקביל לגידול החיטה. לעובדה זו יש משמעות חקלאית וכלכלית עצומה, הן למשק החקלאי והן למשק האנרגיה.

לקחים לעתיד: ברוב החלקות זיהינו מספר בעיות טכניות שגרמו לחוסר אחידות בהסטה ו/או פיזור מי הגשם ממנהרות הפלסטיק לשטחי הגידול. (1) השטח בו נערך הניסוי נראה מישורי אך למעשה היה בו מדרון קל אשר גרם להסטה מוגברת של המים, בדרך כלל לכיוון דרום-מערב (2) מערכת הסטת המים לא הייתה אחידה עבור אזורי גידול שונים. בחלק מהאזורים היו הצפות מים ובחלק אחר חוסר מים. (3) בחלקות הניסוי הקרובות יותר לשולי השדה היה שיבוש חמור בגידול החיטה על ידי שעורה, אשר השפיע בהחלט על התוצאות (ולכן בוצע ניתוח בנפרד ללא חזרות אלו).

הניסוי מתוכנן להמשיך במהלך חורף 2022/2023, בעונה הבאה נשאף להגיע לאחידות פיזור מים טובה יותר שיתכן ותשפר את התוצאות שקיבלנו וכן תצמצם את השונות הגבוהה בתוך כל חלקה.

6 משמעות כלכלית לשיטת טריגו לחקלאות חיטה בצפון הנגב

אם ניתן לתעל את מי הגשם מתת חלקה המכוסה בפאנלים סולאריים לחלקה סמוכה עם גידול חיטה, עלות הייצור תהיה קטנה וללא פגיעה בתפוקה (בהנחה שיעילות תפיסת המים ופיזור בשטח הגידול תהיה גבוהה). אמנם השטח שנזרע יהיה קטן יותר אך התנובה המשופרת תפצה על הקטנת השטח שכאמור ישמש למערכות PV.

השיטה המוצעת במחקר זה תביא לשימור כמות ואיכות התבואה הגדלה באזורי הגידול היובשניים בנגב, תוך יצירת מבנה של "מגן בצורת". בנוסף החקלאי ימשיך להשתמש באותם כלים חקלאיים והתוספת המשמעותית בכמות המים תביא לביטחון ביבול החיטה ואיכותה.

כפי שהנחנו ומצאנו בתוצאות הניסוי, שטחי הגידול הצמודים למנהרות קיבלו כמות מי גשם גדולה יותר לכל מ"ר, והתנובה למ"ר הייתה גבוהה ביחס למצב המוצא. התרומה העיקרית של השיטה לחקלאי תהיה בחסכון המשמעותי בהוצאות הטיפול עקב צמצום השטח המעובד.

באופן כללי, ההוצאות המשתנות בשטחי גידול חיטה הן כ-200 ש"ח/דונם. מתוך עלויות אלה אנחנו מצפים לחסוך 30-50% בכל שנה, כאשר ההקטנה בתנובת היבול לכלל השטח זניחה.

הפעולות הנחסכות (בשטח המחופה): עיבודים, זריעה, דישון, קציר.

התשומות הנחסכות (בשטח המחופה): זרעים, חומרי הדברת עשבים, טיפול במחלות ומזיקים, דשנים.

ובנוסף: פוטנציאל הכנסות מהמערכות הסולאריות

בעזרת תוצאות הניסוי ערכנו תחשיב כלכלי :

תחשיב גידול חיטה בניסוי טריגו:					
גשם + השקייה 345 ממ	גשם + השקייה 460 ממ	ביקורת גשם 230 ממ			
241	247	100	יבול גרעינים (קג'ד') - ניסוי	תחשיב גרעינים וקש:	
161	124	100	יבול גרעינים (קג'ד') - מנורמל		
193	148	120	הכנסה מגרעינים	1200	מחיר גרעינים (ש'טון):
71	54	44	הכנסה מקש	550	מחיר קש (ש'טון):
50	37	70	הוצאות קציר	70	הוצאות קציר + קש (ש'דונם)
133	100	200	הוצאות גידול	200	הוצאות גידול ש' לדונם עד לקציר:
80	65	(106)	רווח לדונם זרוע (ש')		
8,023	6,509	(10,600)	רווח ל 100 דונם שדה (ש')		
תחשיב מספוא:					
			יבול ח"י (ק'ג'ד')		
352	441	248	יבול מספוא (קג'ד') - מנורמל		
153	143	149	הכנסה ש'דונם	650	מחיר מספוא ש'טון ח"י בקמה:
133	100	200	הוצאות גידול	200	הוצאות גידול ש' לדונם עד לקציר:
19	43	(51)	רווח ש'דונם		(עלויות קציר על חשבון הקונה)
1,920	4,333	(5,120)	רווח ל 100 דונם שדה (ש')		

התוצאות הכספיות על בסיס הנתונים שנמדדו בעונה זו (2022) ובשטח שדה חיטה של 100 דונם:

- עיבוד השטחים בשיטת טריגו היה מעביר את החקלאי לרווח גם אם כל התנובה הייתה מופנית למכירת גרגרים וקש וגם אם התנובה הייתה נמכרת כמספוא.

במקרה של גרגרים וקש:

- מהפסד של כ- 10 אלף ש' לרווח של 7 - 9 אלף ש' [ל 100 דונם ומותנה באופן חלוקת השטחים]

ובמקרה של מספוא:

- מהפסד של כ- 5 אלף ש' לרווח של 4 - 2 אלף ש' [ל 100 דונם ומותנה באופן חלוקת השטחים]

וכמובן ללא צורך בתשלום פיצויים מקרנות המדינה לחקלאים.

בנוסף לרווח של החקלאי באזורי הגידול הנוכחיים בצפון הנגב, יתכן שבשימוש בשיטת טריגו יוכלו החקלאים לגדל חיטה גם באזורים יותר שחונים (פחות מ-200 מ"מ), בהם כיום לא מגדלים חיטה (לדוגמה בקעת ערד ורמת נגב). באזורים אלו ובחלוקה נכונה של השטחים בין אזורי גידול חיטה לאזורים עם פנלים סולאריים, ניתן יהיה לקבל בשטחי גידול החיטה תנאי גידול של 250 - 350 מ"מ גשם שהם תנאים כלכליים לגידולי מספוא.

כל התחשיבים הנ"ל התמקדו אך ורק בפן החקלאי והראו שיפור נאה ברווחיות לדונם שטח. כאמור שיטת טריגו כוללת גם את הפן של יצירת אנרגיה. החקלאי יוכל להקים מערכת ליצירת חשמל סולארי שתניב לו הכנסה משמעותית או לחילופין להשכיר את השטח שבין פסי גידול החיטה לחברה יזמית בתחום יצירת חשמל סולארי ולהנות מתשלום קבוע עבור שטח זה.

1. Leng, G. and Hall, J., 2019. Crop yield sensitivity of global major agricultural countries to droughts and the projected changes in the future. *Science of the Total Environment*, 654, pp.811-821.
2. Limon-Ortega, A. and Sayre, K., 2012. Rainfall as a Limiting Factor for Wheat Grain Yield in Permanent Raised-Beds. *Agronomy journal*, 104(4), pp.1171-1175.
3. [Microsoft Word - 1-7- נספח ניקוז מתחם .doc \(land.gov.il\) and nikuz tec c \(1\).pdf](#)