

כפר הנוער החקלאי  
השש שנתי על שם כדורי  
סמל מוסד: 280065  
ד. ג. נ. ת 125242  
עבודת – גמר צמודה ברמת 5 יח"ל בחקלאות

**השפעת קשיות המים, ריכוז יוני הסידן, על % הסוכר  
בתות שדה בשתי מערכות הידרופוניות; מערכת צינורות NFT  
ומערכת רפסודות צפות**



שם המנחה: ד"ר הללי עותבנס  
מקום מגורים: כמון  
שם המנחה: חוה חדיש  
מקום מגורים: כפר קמא  
מקום עבודה: בית ספר כדורי

שם התלמידה: דניה חתוקאי  
מקום מגורים: כפר קמא  
תעודת זהות: 212922058  
פלאפון התלמידה: 0502581234  
אימייל: [Daniahatokay3@gmail.com](mailto:Daniahatokay3@gmail.com)

אפריל, 2020

## תודות:

ראשית, רציתי להודות לצוות של מעבדת החקר כדורי, לד"ר הללי עותבנס, חוה חדיש, עופר ליאון, ניבה פטריץ' ובעז בורי על התמיכה לכל אורך הדרך, על הרצינות והמסירות בעבודה ושתמיד ישבו איתי על העבודה כשהייתי צריכה ותמיד באו לקראתי .

אני מעריכה את ההשקעה, את המחשבה והעידוד מוקירה את הנתינה העזרה המחשבה והלימוד תודה על העשייה ועל אורה טובה תודה על לימוד של נושאים מרתקים ועל הרחבת הידע והאופקים, תודה על מקצועיות בכל פרט ודבר ♥

## תוכן עניינים:

1	מבוא	1
2	סקירת ספרות	2
2	תות שדה	2.1
2	מבנה התות	2.1.1
3	האבקה	2.2
3	גורמים המשפיעים על הפריחה	2.3
4	מחלות ומזיקים	2.4
4	תנאי גידול הדרושים לתות	2.4.1
5	תנאי גידול הדרושים לתות במערכת הידרופונית	2.4.2
6	יסודות הזנה חיוניים	2.5
6	חנקן, זרחן ואשלגן	2.5.1
7	סידן	2.6
8	פחמן, מימן וחמצן (פוטוסינתזה)	2.7
8	מים:	2.7.1
8	חמצן:	2.7.2
9	הידרופוניקה	2.8
12	מערך מחקר	3
12	נושא המחקר:	3.1
12	הקדמה:	3.2
12	מטרת החקר:	3.3
12	שאלת המחקר:	3.4
12	משתנים בלתי תלויים:	3.5
13	המשתנים התלויים:	3.6
13	גורמים קבועים:	3.7
13	חומרים, ציוד וכלים	3.8
14	שיטות מדידה:	3.9
14	שיטת עבודה:	3.10
14	שיטת ריכוז התוצאות והממצאים:	3.11
15	תוצאות	4
15	שלב א' - מדד וגטטיבי	4.1
17	שלב ב' - מדדים רפרודוקטיביים	4.2
20	דיון ומסקנות	5
23	ביבליוגרפיה	6
25	נספחים:	7

### רשימת גרפים:

- גרף 1: מספר עלים ממוצע של תות השדה בריכוזי סידן שונים במערכת צינורות כתלות בימים משתילה: 15.....
- גרף 2: מספר עלים ממוצע של תות השדה בריכוזי סידן שונים במערכת רפסודות כתלות בימים משתילה: 16.....
- גרף 3: מספר עלים ממוצע של תות השדה בריכוזי סידן שונים ביום 71 במערכת הידרופוניות של צינורות ורפסודות: 16.....
- גרף 4: סה"כ משקל הפרי מצטבר של תות שדה במערכת צינורות כתלות בימים משתילה: 17.....
- גרף 5: סה"כ משקל פרי המצטבר של תות שדה במערכת רפסודות כתלות בימים משתילה: 17.....
- גרף 6: משקל פרי מצטבר בסה"כ, כתלות בריכוז סידן במערכות הידרופוניות של רפסודות וצינורות: 18.....
- גרף 7: ערך אחוז הסוכר בפרי במערכת צינורות כתלות בימים משתילה: 18.....
- גרף 8: ערך אחוז הסוכר בפרי במערכת רפסודות כתלות בימים משתילה: 19.....

### רשימת טבלאות

- טבלה 1: טבלת טיפולים: 12.....
- טבלה 2: טבלת מדדים: 13.....
- טבלה 3: ממוצע כולל של ערך הבריקס (% סוכר) 19.....

### רשימת תמונות

- תמונה 1: מבנה התות: 3.....
- תמונה 2: מערכת הידרופונית מסוג צינורות: 9.....
- תמונה 3: מערכת הידרופונית מסוג ריקון והצפה: 10.....
- תמונה 4: מערכת הידרופונית מסוג רפסודות: 11.....
- תמונה 5: גדילת שורשים במערכת רפסודות צפות של ריכוז סידן מ"ג/ל: 25.....
- תמונה 6: השוואה בין צמחים הגדלו במערכת צינורות בריכוזי הסידן השונים: 25.....
- תמונה 7: תותים שנקטפו: 25.....

## 1 מבוא

בעשרות השנים האחרונות חלה עלייה לא רק בגידול האוכלוסייה בישראל, אלא גם עלייה ברמת הדרישות למזון בריא ואיכותי. כדי לספק מזון לאוכלוסייה הגדלה יש נחיצות במים – דבר הגורם ללחץ אדיר על מקורות המים בישראל הנמצאים בסכנת התייבשות. על מנת להתמודד עם בעיה זו שרק הולכת ומחריפה החל מסע של חיפוש אחר פתרונות טכנולוגיים שיאפשרו גידול מזון בריא ואיכותי עם חסכון במים.

מערכת שפותחה להתמודדות עם חיסכון המים היא מערכת גידול הידרופונית: מערכת הידרופונית היא שיטת גידול צמחים שבאה לפתור בעיה של מחסור בקרקע, כלומר מצע מנותק שניתן לוויסות באמצעות בקרה ושליטה בפרמטרים הקשורים לתנאי הגידול. בגידול ההידרופוני, הצמחים מקבלים את יסודות ההזנה החיוניים להם באופן מלאכותי, מתמיסת המים. זהו תחום חדש יחסית והידע והטכנולוגיה עדיין אינם מבוססים דיים ונמצאים בשלבי פיתוח מתמידים, לכן נדרש למצוא את התנאים האופטימליים עבור כל מערכת וכל גידול בנפרד.

בחממת בית הספר כדורי, ישנם שלושה סוגים של מערכות הידרופוניות שונות הנבדלות זו מזו באופן אספקת המים; בסוג אחד, צינורות, המים מוזרמים באופן רציף לאורך צינור, בו נמצאים שורשי הצמחים. בסוג שני, רפסודות, המים נמצאים בבריכה ומוחלפים כל מס' שעות וכן סוג נוסף שבו ישנה מחזוריות של הצפה וריקון של המים במצע של טוף. סביר להניח כי בכל אחד מסוגי המערכות ידרשו תנאי גידול שונים, בהתאם לסוג המערכת ובהתאם לסוג הצמח. לכן כדאי לבדוק איזו סוג מערכת הידרופונית מתאימה יותר לשם גידול תות שדה.

בנוסף להתאמת מערכת הידרופונית לגידול התותים רציף לבדוק איך משפיע ריכוז הסיידן על התפתחות ותנובה של צמח התות, לסיידן יש תפקידים רבים בתפקוד הצמח כמו השתתפות בתהליכים מטבוליים של ספיגת מינרלים חיוניים לצמח ובתהליכים הורמונליים בצמח, ובניסוי זה תיבדק ההשפעה של חומר זה בריכוזים שונים.

תהליך ביצוע הניסוי בוצע בשתי מערכות הידרופוניות; מערכת אחת של צינורות והשנייה מערכת רפסודות, שאליהם מחוברת בריכה ממנה מוזרמים המים בסחרור. בבית הספר קיימות 3 מערכות מקבילות כאלו ובניסוי שלי כל אחת הכילה ריכוז סיידן שונה (סה"כ 3 ריכוזי סיידן שונים). גודל המדגם היה 12 שתילי תות בכל אחד מהטיפולים. הפרמטרים שנמדדו התייחסו להתפתחות הצמח לאורך זמן, לתנובה ולמידת המתקנות של הפרי. ובנוסף ההתאמה של כל מערכת הידרופונית בנפרד בחממה.

כאמור, מאחר והניסוי תוכנן במטרה לבדוק את השפעת הריכוזים השונים של הסיידן על גידול תות השדה בשתי מערכות הידרופוניות שונות, נגזרו שאלות המחקר בהתאם:

1. כיצד משפיע ריכוז הסיידן על התפתחות ותנובה של צמח התות ?

2. איזו מערכת הידרופונית מתאימה יותר לגידול תות שדה?

## 2 סקירת ספרות

### 2.1 תות שדה

תות השדה הוא סוג של צמח בעל פרחים ממשפחת הוורדיים והוא רב שנתי. משפחה זו כוללת כ-35 מינים שונים, חלקם מתורבתים, שהידוע בהם הוא תות הגינה שהוא הכלאה בין שני מינים - *F. chiloensis* ו-*F. virginiana*. במהלך המאה ה-18 הוחלף צמח תות הבר במין אחר של תות בשם *Fragaria – Ananassa x* והוא תות הגינה המוכר כיום, שהוא זן קל יותר לגידול ולטיפוח (זקס & עבדאלראזק, 1989).

למרות ההחלפה של מין התות, פרי זה עדין ורגיש למחלות כגון: פטריות, חרקים ואקריות והוא פרי שאינו קל לגידול. מכך נובע שתות השדה זקוק לטיפול צמוד בזמן שהוא מניב פרי. הטיפול הנכון הוא לקטוף את הפירות ולדאוג שהפרי יהיה כמה שיותר רחוק מהקרקע, כך שלא יירקב (אורגניקו, 2020).

#### 2.1.1 מבנה התות

התות בנוי מ:

~ שורש- השורשים הראשונים ( 30-15 במספר) מתפתחים מהבסיס של כל עלה חדש שבכתר.

לזנים מסויימים עוצמת התפתחות שורשים שונה, ככל שהצמח ממעט ליצור שלוחות כתוצאה מטבעו או בגלל תנאי גידולו מערכת השורשים שלו מפותחת יותר. עומק ההתפתחות של מערכת השורשים ועוצמתה תלויים בדרך כלל בתנאי גידול.

~ כתר- הכתר הוא גבול מקוצר ביותר, הנושא את העלים שבהם נוצרים הניצנים.

~ עלה - מורכב משלושה עלים קטנים, העלה מסודר באופן שמאפשר למבנה הצפוף של הצמח חשיפה מירבית לאור.

~ שלוחות- השלוחות בשתיל נוצרות מהניצנים, בקצה השלוחה שנוצרה נוצר הצמח החדש, המכונה "בת".

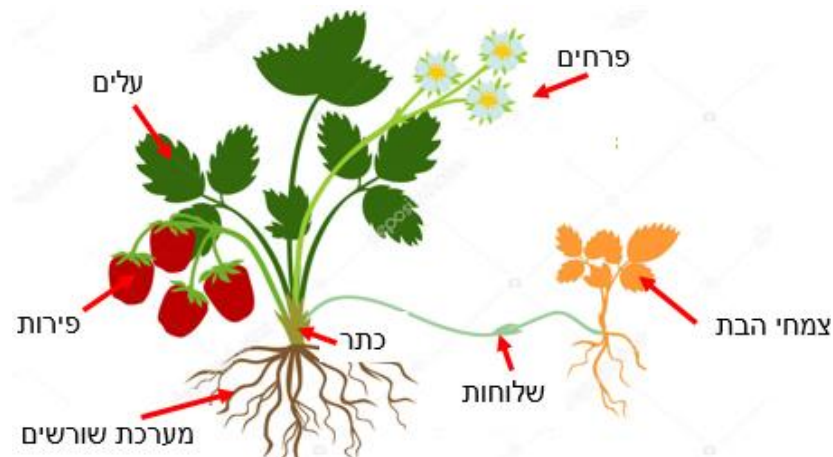
~ צמחי הבת- מורכבים מציר ראשוני קצר הנושא עלים וניצני עלים בסידור סלילי שמסתיים בנקודת צמיחה וגטטיבית.

~ פרח- הוא איבר הרבייה הקיים בצמחים. מבנה זה מכיל איברי רבייה זכריים ונקביים המשמשים לרבייה.

~ פרי - הפרי במובן הבוטני הוא אחד מהאמצעים של הפרח להפצת זרעיו, ומכיל בתוכו זרעים שמסביבם חומר עסיסי ומזין שעטוף בקליפה (זקס & עבדאלראזק, 1989).

התות הנו פרי מדומה שכן מה שאנו אוכלים אינו אלא מצעית הפרח, הפירות האמתיים (אגוזיות) מצויים על קליפת התות (מייזלס, 2018).

## תמונה 1: מבנה התות:



(Mariafalaya, 2019)

## 2.2 האבקה

תות השדה מאובק על ידי חרקים, כשלרוב דבורים משמשות להאבקה. כפי שנכתב לעיל פרי התות בנוי ממצעית נושאת ומזינה צבר אגוזיות. גודלו מושפע ממספר השחלות המופרות, וחוסר הפריה גורם לעיוותים קשים בצורת הפרי. הזרעים בפרי הקרויים "זרעונים" הנם הפרי "האמיתי". הזמן הממוצע להתפתחות הפרי בחודשי החורף הוא 32-38 ימים. באביב עם עליית הטמפרטורות, משך הזמו מתקצר ל 25-28 ימים (זקס & עבדאלראזק, 1989).

## 2.3 גורמים המשפיעים על הפריחה

הפריחה תלויה במספר גורמים: גנוטיפ<sup>1</sup>, גיל הצמח, הזנה, אורך יום וטמפרטורת הסביבה. ניתן לחלק אותם לגורמים חיצוניים כמו אורך יום וטמפרטורה ולגורמים פנימיים, כמו מצב הורמונלי.

המנגנון המשולב שמבקר את הפריחה כולל אורך יום, טמפרטורות וגורמים נוספים מוודאים שהפריחה תהיה בזמן הנכון ולא יהיה בזבז אנרגיה מיותרת על פרחים שלא הגיעו ליעדם וזרעים שנובטים בתנאים לא מתאימים.

בהקשר החקלאי המעבר לפריחה מהווה אבן דרך קריטית במועד ובתהליך ייצור הפרי. מחקרים חשובים בהבנת ההשפעה הפוטופריודית<sup>2</sup> התחילו להופיע בתחילת המאה ה-20. ברוב זני תות-שדה פוטופריודה קצרה וטמפרטורה נמוכה מעודדים יצירת פרחים וכתרים ומעכבים יצירת שלוחות, ובתנאים הפוכים של פוטופריודה ארוכה וטמפרטורה גבוהה יש עידוד של יצירת שלוחות ועיכוב יצירת פרחים ישנם מחקרים בתות המראים כי אורך היום הוא הגורם המשפיע ביותר על ההתמיינות לפריחה, ולעומתם יש מחקרים בזני תות-שדה אחרים בהם

<sup>1</sup> גנוטיפ- קבוצת גנים האחראים לתכונה מסוימת

<sup>2</sup> פוטופריודה -היא תגובתם הפיזיולוגית של אורגניזמים לאורך היום והלילה

הראו שבטמפרטורות נמוכות מספיק הצמח מתמין לפריחה אפילו באור רצוף במשך כל היממה (מייזלס, 2018).

## 2.4 מחלות ומזיקים

כפי שהוזכר, תות השדה הוא צמח רגיש למזיקים ומחלות. המזיק העיקרי שהיה בעבודה שלי הוא אקרית הקורים.

אקריות הקורים (Tetranychidae) הן משפחה של אקריות הנוהגות לתקוף מגוון צמחים ביניהם ירקות, עצי פרי ופרחים ותחת משפחה זו נכללים כ-1,200 מינים בכל העולם. בישראל תועדו כ-12 מינים בלבד כשהנפוצות שבהן הן האקרית האדומה והצהובה שהן שני גזעים של אותו מין (*Spider mites Tetranychus urticae*). נקבות האקרית טוות על גבי עלי הצמח קורים המספקים הגנה. האקריות פוצעות את רקמת הצמח בצדו התחתון של העלה ומוצצות את הלשד שלו. מבין נזקי האקרית ניתן למנות הצהבה, התייבשות, הפסקת הצימוח, פגיעה באיכות וכמות היבול והיא עלולה אף להוביל למות הצמח במקרים הקשים. האקרית מושפעת ממשק המים של הצמח, מהלחות באוויר והיא חובבת טמפרטורות גבוהות יחסית.

תנאי מחיה מועדפים על האקרית: האקרית חובבת בעיקר אקלים חם ויבש. עם העלייה בטמפרטורות ישנה צמיחה בכמות הביצים אשר פוחתת עם עלייה ברמת הלחות (syngenta, 2019)

הטיפול באקריות נעשה עם כנימות טורפות להדברה ביולוגית, הכוונה בהדברה מסוג זה היא חיסול המזיקים באמצעות אויביהם הטבעיים (במקרה זה הן הכנימות). למזיקים המתלבשים על הגידולים החקלאיים ישנם אויבים טבעיים המתחרים עם המזיקים על שטחי גידול וייתכן אף ניזונים מאותם טפילים. האויבים של המזיקים הללו הם אלו שמאפשרים איזון במערכת הטבע (זינגר, 2019).

הכנימות הינן חרקים קטנים ורכים (כ-2 מ"מ אורך) שמפתחות מושבות צפופות על הצמח. לגופן צורת אגס וצבען משתנה בין ירוק, צהוב, חום ושחור. הרגלים והמחושים דקים. מהחלק האחורי של הבטן מתרוממות זוג צינוריות שבעת סכנה מפרישות נוזל שעוותי שנועד לדחות אויבים פוטנציאליים. בוגרי הכנימה מופיעים הן כחסרי כנפיים והן כבעלי כנפיים; האחרונים בעיקר באוכלוסיות צפופות (ביובי, 2019).

### 2.4.1 תנאי גידול הדרושים לתות

מגדלים את תות השדה בתנאי שמש מלאה בתוך אדמה או במערכות הידרופוניות. בעת גידול התות באדמה מומלץ להשקות בהשקייה בינונית, כלומר אדמה מנוקזת ולחה בלבד (לא רטובה), בהידרופוניקה ניתן לגדל עם או בלי מצע גידול (כלומר בטוף או ישירות במים). לקראת האביב מומלץ לדשן את האדמה על מנת לאפשר לו לצמוח ולהניב את פירותיו ללא מחסורים תזונתיים. יש לשים לב, "פרי" התות רגיש למחלות ומומלץ לשתלו במצע מנותק כך שהפירות לא יהיו במגע עם האדמה, או לכסות את האדמה ביריעה המפרידה בינה לבין



הפירות בנוסף כדאי להגן על התות עם רשת, בגלל שאם התות יישאר חשוף עלולות לבוא גם הציפורים (naturetech, 2018).

## 2.4.2 תנאי גידול הדרושים לתות במערכת הידרופונית

חומציות (pH): רמת החומציות במים משפיעה על קליטת חומרי ההזנה על ידי שורשי הצמח. מדד החומציות מייצג את ריכוז יוני<sup>3</sup> המימן במים ערך זה נמדד בסקאלה הנעה בין 1-14 כאשר החלוקה לערכים בסיסיים או חומציים היא על פי הטווחים:

~ ערכים הנמוכים מ-7 הינם חומציים  
~ ערכים הגבוהים מ-7 הינם בסיסיים

הטווח האידיאלי עבור מרבית הצמחים הוא 5.8-6.2 (חומצי), במקרה זה היינו צריכים לשמור על pH שנמצא בין 5.8-6.0.

סטייה מערכים אלו יכולה לגרום לירידה בספיגה של חומרי ההזנה על ידי הצמח ועלולה לגרום לו לחוסרים ומחסור בחומרי ההזנה לצמח עלול לגרום להתפתחות לא תקינה ופגיעות גבוהה יותר למזיקים (ליבינגרין, 2019).

מוליכות חשמלית (EC): המוליכות החשמלית מאפשרת לנו לדעת בקירוב את כמות הדשן הנמצאת במים, מדד המוליכות החשמלית מושפע מכמות המומסים במים. היחידה בה נמדדת מוליכות חשמלית נקראת מיקרוסימנס.

כל צמח זקוק לערך שונה של מוליכות חשמלית, צמחים פירותיים כמו: תותים, עגבניות ועוד יצטרכו יותר חומרי הזנה מאשר צמחים עלוותיים כגון: חסה, בזיליקום ועוד.

טווחי ערכי מוליכות חשמלית בצמחים פירותיים נמצא בטווח של 2-3 מילימוס (ליבינגרין, 2019).

**חמצן:** תמיסת ההשקיה ההידרופונית היא לא רק תערובת של דשנים מלחים ומים. קיימים אורגניזמים ותרכובות בתמיסת ההשקיה שעלינו להיזהר מנוכחותם או מחסרונם, אחד מהחשובים שבהם הם חמצן מומס (dissolved oxygen) אשר נוכחותו חשובה לחיוניות ובריאות השורשים וגם לספיגת הדישון בצורה אופטימלית. מרבית המגדלים מודעים לחשיבות של הוספת אוורור כלשהו לתמיסת ההשקיה אם זה במערכות הידרופוניות בסירקולציה<sup>4</sup> ואם במערכות מבוססות על מצע גידול. הדרך הקלה ביותר לשמירה על אחוזי חמצן מומס תקינים היא על ידי שימוש במשאבת אוויר ואבן אוויר שתפזר אותו בתוך התמיסה, במערכות הידרופוניות בסירקולציה כדוגמת טכניקת קו הזנה (N.F.T) זרם המים החוזר אל המאגר יכול לשמור על רמות חמצן תקינות בתמיסה (גרשוף, 2020).

<sup>3</sup> יון-הוא אטום או מולקולה, הנושאים מטען חשמלי.

<sup>4</sup> סירקולציה- מחזור, סיבוב

**טמפרטורה וחמצן מומס:** לטמפרטורה של תמיסת ההשקיה יש השפעה מכריעה על כמות החמצן המומס וגם על קצב הדיות<sup>5</sup>, כאשר הטמפרטורה של תמיסת ההשקיה עולה, היכולת של התמיסה לאחוז בחמצן מומס יורדת.

לדוגמה: עליה ב 10 מעלות צלסיוס בתמיסת ההשקיה, כמות החמצן הנצרכת על ידי רקמת השורש תוכפל בעוד התמיסה תוכל להחזיק 25% פחות חמצן עקב העלייה בטמפ', מצב זה עלול לגרום לירידה חדה באחוזי החמצן המומס ולחנק של רקמות השורשים למשך זמן ההתחממות (גרושופ, 2020).

## **2.5 יסודות הזנה חיוניים**

יסודות הזנה החיוניים לצמח מוגדרים כיסודות שבהעדרם אין הצמח מסוגל להשלים את מחזור חייו. אם יסוד הזנה חיוני מצוי בריכוזים בלתי מספיקים, מתגלים סימני מחסור אופייניים, שעוצמתם הולכת ומתחזקת ככל שהמחסור מעמיק ומתמשך (רימון, 2005). ישנם יותר מ-60 יסודות בצמח, מקורם של היסודות הללו הוא בקרקע למעט מספר יסודות שהם חמצן, פחמן ומימן שמקורם באוויר ובמים. הצמח קולט את מרבית היסודות מהקרקע והם היסודות המינרליים. מבין 60 היסודות שמצויים בצמח מצאו כי לפחות 16 מהם הם הכרחיים על מנת שהצמח יגדל בצורה תקינה, הם הכרחיים היות וחוסר ביסודות מינרלים אלה עשוי לפגוע בהתפתחות הצמח. יסוד מוגדר חיוני כאשר הוא מהווה חלק ממולקולה או ממרכיב אחר החיוני לבניית הצמח ולתפקודו (וייס, 2002). נהוג לחלק את היסודות המינרליים למאקרו ולמיקרו יסודות, לפי הכמות היחסית שלהם בצמח.

### **2.5.1 חנקן, זרחן ואשלגן**

**חנקן** הוא אחד היסודות המזינים החשובים לצמח. החנקן משפיע על ייצור הכלורופיל ועל חומצות אמינו החיוניות להתפתחות הצמח. המחסור בחנקן יתחיל להופיע בעלים שבחלק התחתון של הצמח, אלו ישנו את צבעם לצבע ירוק חיוור ולאחר מכן יתחילו להצהיב ולמות. החנקן הוא יסוד נייד וזה אומר שהצמח יכול להעביר אותו בין חלקי הצמח במידת הצורך. כאשר מתחיל מחסור בחנקן הצמח יתחיל להעביר חנקן מעלים בחלק התחתון לעלים בחלק העליון וזה מה שגורם להצהבה בעלים התחתונים שבצמח. בנוסף להצהבה של העלים במצב של חוסר בחנקן יהיה ניתן להבחין בקצב גדילה איטי יותר ובהתפתחות עלים קטנים יותר בצמיחה חדשה (הידרומרקט, 2019). **זרחן** משמש בעיקר להתפתחותה של מערכת שורשים וכן בהיווצרותם של ניצנים, פרחים, פירות וירקות. הזרחן נספג על ידי שורשי הצמח בכמה אפשרויות שונות אך יש מספר בקטריות ופטריות החיות באיזור השורשים ועוזרות לצמחים ל"עכל" מינרל זה. אחד מהתהליכים הללו

<sup>5</sup> דיות- אידי מים

הינו הפוטוסינתזה בו לזרחן יש תפקיד חשוב בלהפוך את אנרגיית האור, ביחד עם מים ופחמן למולקולת סוכר פשוטה המשמשת כאבן בסיס בבניית תאי צמח.

כמויות לא מספיקות של זרחן יביאו לפגיעה כללית בצמח ויכולת העברת המזון לכל חלקי הצמח נפגעת. בפועל הצמח צריך להעלות מזון מהשורש לשאר חלקי הצמח, דבר המצריך אנרגיה ולעיתים אף כמות גדולה של אנרגיה בכדי לשנע מזון במעלה חלקי הצמח. לזרחן תפקיד משמעותי בתהליך זה (הידרוגרו, 2019).

**אשלגן** אחראי על פעולת הפיוניות שבצמח. הפיוניות הן פתח בעלים שבעזרתן הצמח מקבל ופולט חמצן, פחמן דו חמצני, מועברים דרכם מים ודשנים, דרכם הצמח מסוגל לקרר את עצמו והם תומכים חשובים בתהליך הפוטוסינתזה ובהובלתם של חומרים נוספים בין חלקי הצמח. כאשר האשלגן מגיע לתאים המתאימים השומרים על הפיוניות, תאים אלו מתחילים לאגור מים ולהתנפח. על ידי כך מתאפשר מעבר חופשי וקל של גזים דרך הפיוניות אל ומחוץ לצמח. במידה ולצמח חסר אשלגן אז תהליך זה אינו מתבצע כהלכה, צבע העלים משתנה וחלה ירידה דרסטית באיכות ובמראה הצמח (הידרוגרו, 2019).

## 2.6 סידן

הסידן הינו יסוד ממשפחת המתכות האלקליות שסימולו הכימי Ca. הסידן מינרל חשוב והכרחי המשתתף בתהליכים ביולוגים רבים, הוא היסוד החמישי הכי נפוץ בכדור הארץ. ליוני הסידן חשיבות עליונה בשמירה על חוזק מכני של הצמח. עם הגדילה, בזמן היווצרות תאי צמח חדשים, מצטבר סידן בדפנות התאים ובתווך שביניהם. צבירה זו של סידן שומרת על חיבור ושלמות מרקם העלה או הפר בנוסף הסידן משתתף בתהליכים מטבוליים של ספיגת מינרלים חיוניים ובתהליכים הורמונוליים בצמח.

תנועת הסידן בין אברי הצמח נמוכה. מחסור בו, אפילו זמני, יבלוט מיד באזורי הצמיחה הצעירים, בעלים או בפירות, ללא יכולת "למשוך" אותו מעלים מבוגרים יותר שם הוא יכול להימצא בריכוזים גבוהים.

קליטת הסידן ותנועתו בצמח תלויה במשק המים הכללי. על כן, בעת מחסור מים, אפילו זמנית, תפגע האספקה אל האיברים הצעירים ויפיעו סימפטומים של מחסור, מעיין נמק (התמוטטות הרקמה) בקודקודי הצמיחה או בקצות הפירות.

לקרקעות ישראל אופי גירי והסידן מצוי כאן בשפע. ריכוז הסידן במי ההשקיה מספק, ברוב המקרים, את דרישת הצמחים גם כאשר הגידול הוא על מצע מנותק ולא נהוג להוסיף אותו כדשן בתחום הגנני, (פפירוס, 2020).

למרות הקרקעות הרווים בסידן, מעבר לשימוש במים מותפלים (נטולי מלחים) עלול לגרום למחסור בסידן במים ולכן בניסוי זה נבדקה ההוספה שלו.

תפקיד נוסף של הסידן הוא עמידות הצמח לסטרס כתוצאה מטמפרטורה גבוהה, הסידן משפר את תפקוד הפיוניות שבעלים ומסייע לצמח להתפתח (הידרומרקט, 2018).

## 2.7 פחמן, מימן וחמצן (פוטוסינתזה)

פוטוסינתזה היא תהליך של יצירת חומרים אורגניים מחומרים אנאורגניים בעזרת אנרגיית האור. חומרי המוצא האנאורגניים בתהליך זה הם פחמן דו-חמצני (שהצמחים קולטים מהאוויר), ומים (שהצמחים קולטים בשורשיהם). הכלורופלסט הוא האזור בתאי צמח בו מתרחשת קליטת אנרגיית האור. הצבע הירוק של העלים כלורופיל- הוא הפיגמנט העיקרי קולט האור. חלקיק אור פוגע בכלורופיל וגורם לאלקטרון בתוכו לעלות לרמת אנרגיה גבוהה יותר, כך מתחילה שרשרת פעולות שבסופה הופכת אנרגיית האור לאנרגיה כימית השמורה בפחמימות (סוכרים) שהצמח מייצר (פפירוס, 2017).

מכיוון שבטבע מקור האנרגיה של תהליך הפוטוסינתזה הוא אור השמש - בטבע הוא יכול להתקיים רק בשעות היום.

התוצר של תהליך הפוטוסינתזה הוא חומר אורגני - סוכר (גלוקוז), וכן עודפי חמצן שנפלטם אל הסביבה (מט"ח, 2012).

### 2.7.1 מים:

מים הם התרכובת הכימית הנפוצה ביותר על פני כדור הארץ והם מכסים כ-70.8 אחוז ממעטפת כדור הארץ. מולקולת מים מכילה שני אטומי מימן ואטום חמצן אחד, שיוצרים ביחד את הנוסחה המולקולרית  $H_2O$ , המים מאפשרים את קיום החיים בעולמנו ומשמשים בסיס לכל חי והצומח על פני כדור הארץ. לא במקרה המים הם חומר חשוב כל כך לקיומנו התכונות הייחודיות שלהם הן אלו שמאפשרות את החיים כפי שאנו מכירים אותם (הארץ, 2019).

תפקיד המים בצמח חיוני לשלושה מטרות; הובלת חומרי הזנה והובלת מוטמעים, יצירת הלחץ הפנימי המקנה יציבות (לחץ טורגור) וכן המים משתתפים בתהליך הפוטוסינתזה כחלק מהמגיבים ליצירת הגלוקוז. ההובלה של המים והחומרים המומסים בהם מתבצעת בעיקר ברקמות ההובלה של הצמח. בצמח יש שתי מערכות של צינורות הובלה, נפרדות; האחת להובלת מים ומינרלים מהשורש אל כל חלקי הצמח הנקראת צינורות עצה, והשנייה מערכת להובלת תוצרי פוטוסינתזה ותוצרים נוספים מהעלים לשאר חלקי הצמח, הנקראת צינורות שיפה (מט"ח, 2012).

### 2.7.2 חמצן:

החמצן נחוץ לצמח כחלק מאבני הבניין של התרכובות האורגניות וכן משמש בתהליך הנשימה התאית לייצור אנרגיה (ATP), ללא חמצן הצמח ייחנק וימות. את החמצן הצמח קולט מהאוויר בשני אופנים:

חמצן הוא תוצר לוואי של תהליך הפוטוסינתזה, שנוצר על ידי ביקוע מולקולות מים בקרב צמחים, ובאותו התהליך נוצרות מולקולות של גלוקוז ומולקולות של חמצן, ביחס של 6:1, בתוך תא הכלורופלסט ומשם מגיע החמצן בדיפוזיה ובהסעה, דרך צינורות העצה כלפי מעלה ודרך צינורות השיפה כלפי מטה, אל הגבעול ואל השורש. בלילה כשלא מתקיים תהליך

הפוטוסינתזה, הפיוניות סגורות, ומנוצל החמצן שישנו בצמח, ובנוסף חמצן שנכנס בדיפוזיה דרך העלים, וגם דרך השורש. הצמחים לא רגישים לירידה בריכוז החמצן בתוכם, אבל מאחר שהשורשים הם רקמה פעילה, הם צורכים כמות גדולה יותר של חמצן לנשימה התאית ואם השורשים אינם באים במגע עם האוויר הם נחנקים (מורן, 2018).

## 2.8 הידרופוניקה

הידרופוניקה היא שיטה לגידול צמחים ללא אדמה כלל ועל בסיס מים (גרין, 2009). המילה הידרופוניקה מורכבת מהמילים הידרו שמשמעותה מים, ופניקה, שמשמעותה צורת גידול (הידרופוניקס, 2014).

שלוש שיטות הידרופוניות שיש בחממת כדורי:

- שיטה ראשונה היא שיטת גידול בצינורות: בשיטה זו הצמח נשתל בעציץ רשת כאשר שורשיו מתפרסים בתוך הצינור והשורשים של הצמחים נמצאים במגע ישיר עם המים, שבעצם זורם בתוך הצינורות. כמות המים בצינורות היא כמות קטנה ולא צריך להוסיף חמצן או אוויר מפני שהמגע עם המים באוויר הוא רב וכן לשורשים יש גם מגע ישיר עם האוויר שבחלל הצינור (גרו, 2004).

יתרונות: עלות המערכת לא רבה, בגלל שיש זרימת מים קבועה ומגע עם האוויר אין מחסור בחמצן במים והצמחים לא נרקבים. ניתן לגדל מספר גדול של צמחים במקום קטן, ניתן לדשן בדשנים אורגניים, יש חסכון במים ובדשנים בגלל הזרימה הקבועה והמחזורית של המים. חסרונות: יש צורך לעשות מעקב שוטף אחר רמת החומציות במים, המערכת תלויה בחשמל וכאשר המשאבה לא עובדת ומסחררת את המים לאחר כמה שעות הצמחים יכולים למות, ייתכן אף שיהיה צורך לקרר את המים (tech, 2017).

### תמונה 2: מערכת הידרופונית מסוג צינורות



צולם על ידי דני חתוקאי בתאריך 17.02.2019

- שיטה שנייה היא ריקון והצפה: השולחנות מלאים בטוף והמים מועברים לצמחים דרך סיפונים אוטומטיים הממוקמים בכול שולחן. המים זורמים לתוך הטוף ונשאבים למיכל איסוף כל 40 דקות וכתוצאה מכך נוצר אוורור דינמי מחזורי בין חללי הטוף ומאפשר לחמצן להתפזר אל תוך המים ולהגיע לשורשי הצמח (סמורויל & כהן, 2013).

יתרונות: חסכון במים ודשן, בניית המערכת פשוטה ולא יקרה, צריך רק משאבה קטנה כדי להפעיל את המערכת ואין צורך לקרר את המים.

חסרונות: בגלל שתחתית הקרקע מוצפת במים, כמות רבה של מלחים ומינרלים עלולה להצטבר ולמנוע מהצמח לגדול ולהתפתח, כששותלים שתילים קטנים השורשים שלהם עלולים לא להגיע לתחתית הקרקע ויהיה צורך להיעזר בטפטוף (tech, 2017).

### תמונה 3: מערכת הידרופונית מסוג ריקון והצפה:



### צולם על ידי דניה חתוקאי בתאריך 17.02.2019

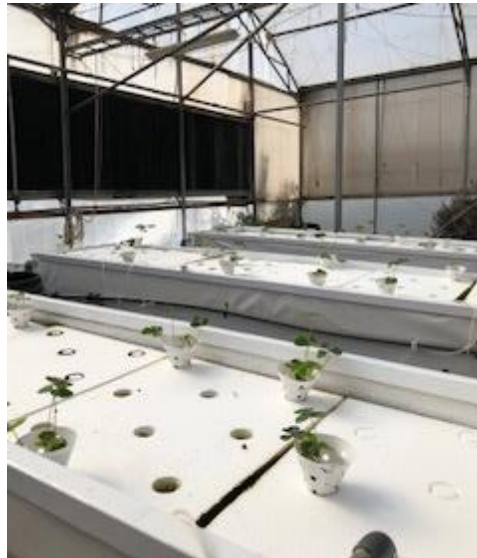
- שיטה שלישית היא רפסודות צפות: בו קלקרים שצפים מחוררים כך שדרקן שורש הצמח יגיע למגע ישיר עם המים מהם הצמח ניזון באופן קבוע בכמות מועשרת של חומרי הזנה (ליבינגרין, 2009).

בשיטה זו הצמחים גדלים במגע ישיר עם המים לרוב על גבי פלטות קלקרים צפות, כך שיצא ששורשי הצמחים ניזונים ממים מועשרים חומרי הזנה שמוזרמת מהבריכות המחוברות אליהן (כהן, 2014).

הפוטוסינתזה המתרחשת בחלקים הירוקים מייצרת גלוקוז העובר לשורש דרך מערכת השיפה, הקליטה האקטיבית בשורשים דורשת גם חמצן לתהליך הנשימה. אספקת חמצן זו היא כנראה בעייתית בשיטה ההידרופונית הזאת לכן כוללת המערכת מפוח הדוחס אוויר למים על מנת להעלות את ריכוז החמצן במים (בכדומה לאקווריום דגים) (USCB, 2015).

יתרונות: מותאמת במיוחד לצמחים הגדלים במים, נפח של מערכת השורשים גדולה, שותלים פחות ומקבלים יותר יבול, חיסכון המים בגלל המחזור שלהם בדשנים .  
חסרונות: ייתכן צורך בקירור המים, השורשים של הצמחים חשופים למחלות, ולכן רצוי לחטא את המים על ידי מערכת UV להשמדת נבגים של פטריות. שימוש בדשנים אורגנים עלול להעלות קצף, צריך לעשות מעקב יום יומי ולאזן את רמת החומציות (tech, 2017).

#### **תמונה 4: מערכת הידרופונית מסוג רפסודות:**



**צולם על ידי דניה חתוקאי בתאריך 17.02.2019**

### 3 מערך מחקר

#### 3.1 נושא המחקר:

השפעת ריכוז יוני הסידן, על התפתחות ו % הסוכר בתות שדה בשתי מערכות הידרופוניות; מערכת צינורות NFT ומערכת רפסודות.

#### 3.2 הקדמה:

לפי מחקרים שנעשו על עגבניות, ריכוז הגלוקוז עולה כאשר מוסיפים מים מליחים להשקיות, מטרת מחקר זה הוא לבדוק אם סידן יגרום לאותה ההשפעה ויגרום לעלייה בריכוז הגלוקוז בתות, והאם יש הבדל בגידול תותים במערכות הידרופוניות שונות והאם מערכת אחת תהיה יותר מועילה מאשר השנייה.

#### 3.3 מטרת החקר:

מטרת העבודה הייתה לבדוק כיצד משפיע ריכוז הסידן על התפתחות ותנובה של צמח התות, ואיזו מערכת הידרופונית מתאימה יותר לגידול התותים (רפסודות או מערכת צינורות).

#### 3.4 שאלות המחקר:

1. מהי השפעת ריכוזים שונים של סידן על התפתחות ותנובה בתות שדה?
2. איזו מערכת הידרופונית מתאימה יותר לגידול תות שדה והאם סוג המערכת משפיע במקרה זה?

#### 3.5 משתנים בלתי תלויים:

1) ריכוזי סידן שונים

2) סוג מערכת הידרופונית

טבלה 1: טבלת טיפולים:

סידן / רמת גלוקוז	100 מ"ג/ל" סידן	120 מ"ג/ל" סידן	140 מ"ג/ל" סידן
מערכת צינורות	*12	12	12
מערכת רפסודות	12	12	12

\* מסמל את גודל המדגם



### 3.6 המשתנים התלויים:

משתנים וגטטיביים ( צמחיים ) – עלים  
משתנים רפרודוקטיביים ( תוצרת הפרי )

טבלה 2: טבלת מדדים:

ממד/נושא	יחידות מדידה	תיאור המדידה (תדירות, גודל מדגם ו..)
<b>מדדים וגטטיביים</b>		
מספר עלים	יחידות	נבדק 4 פעמים במהלך הניסוי
<b>מדדים רפרודוקטיביים</b>		
מספר פירות	יחידות	נבדק בכל קטיף
משקל פירות	גרמים	
<b>מדדים כימיים</b>		
ערך אחוז בריקס (% סוכר בפרי)	אחוזים	נבדק אחרי קטיף ומיצוי הסוכר

### 3.7 גורמים קבועים:

- 1) טמפרטורה ומקור המים – שלושת הבריכות נמצאות באותו חלל ומקבלות מי רשת .
- 2) יסודות ההזנה במים למעט סידן – אשלגן, זרחן ומיקרו אלמנטים כולם נקבעו על פי הריכוז בבריכה מספר 1 שבה ריכוז הסידן הנמוך ביותר מבין הבריכות בחממה.

**משתנה בלתי תלוי:**

ריכוז הסידן – בכל טיפול ריכוז הסידן ווסת למצב קבוע שלא יחרוג מהריכוז הרצוי

### 3.8 חומרים , ציוד וכלים

**חומר חי:** 72 שתילי תות שדה

**חומרים:** קלניט 150 תמיסת  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  מכיל 105 גר/ל חנקן צרוף + 150 גר/ל' סידן.

**ציוד:**

72 קונוסי פלסטיק לשתילה.

מפרט החממה : גודל 1 דונם, לא מחוממת עם 4 מאווררים להוצאת האוויר החם ומזרון לח לבקרת לחות.

מערכת הידרופונית- 3 מיכלים בגודל 1000 ליטר ו- 3 משאבות לסחרור המים.

מערכת הצינורות- כל שתיל הונח בתוך קונוס מחורר מפלסטיק והוכנס לשקע בצינור, השתילים מוקמו במרווחים של צינור לרוחב ובמרווח של 2 שקעים בין כל שתיל לאורך הצינור. כל מערכת

ניסוי מוקמה בקו שונה .

מפרט מערכת הידרופונית בהצפה: 3 שולחנות ובכל שולחן 6 רפסודות צפות בסך הכל.  
רפסודות צפות בגודל של 58 \* 51 בגובה 3 ס"מ.

#### כלי מדידה:

- מכשיר למדידת אחוז סוכר מומס בנוזל - רפרקטומטר - מד בריקס (סוכר), תוצרת IEON בטווח של 0.6-177 דיוק  $\pm 0.1\%$ .
- מאזניים דיגיטליים תוצרת OHAUS דגם B 1500 D בטווח של 0 - 150 גרם בדיוק של 0.01 גרם.
- מכשיר למדידת חנקן חברת horiba
- מכשיר לבדיקת EC, חברת euteoh
- מכשיר לבדיקת סידן חברת horiba

### 3.9 שיטות מדידה:

- מספר עלים: נספרו עלים גדולים מגודל של מספר סנטימטרים, כל 3 התפצלויות נספרו כעלה אחד.

- משקל פירות טרי: הפירות הבשלים נקטפו ולאחר מכן נשקלו אחד אחד  
- בריקס: נמדד ערך בריקס (% סוכר) בעזרת חציית הפרי ומעיכתו, לאחר מכן טופטף המיץ מהתות לתוך העינית של הרפרקטומטר. פעולה זו נעשתה עבור כל פרי בשל וחושב ממוצע עבור צמח בודד.

### 3.10 שיטת עבודה:

#### הכנה:

- שטיפת השורשים במים לפני הצבתם במערכת
- מילוי טוף בכל קונוס ליציבות השתיל
- הוספת כמויות סידן שונות בכל בריכה

**שיטת שילוט** – השילוט היה לפי חלוקה של 12 שלטים בכל מערכת בנפרד.

**שיטת הצבת הניסוי:** שתילי התות חולקו לקבוצות של 12 בין שלושת המערכות ההידרופוניות. סה"כ 36 שתילים במערכת הצינורות ועוד 36 שתילים במערכת הרפסודות שהוצבו בעזרת קונוסים מפלסטיק.

### 3.11 שיטת ריכוז התוצאות והממצאים:

התוצאות רוכזו בטבלאות בגיליון אקסל בוצע עיבוד סטטיסטי של ממוצעים, סטיות תקן, ותיאור גרפי של המגמות.

## 4 תוצאות

התוצאות עובדו בתוכנת אקסל ונערכו ממוצעים וסטיות תקן.

כל התוצאות מוצגות בגרפים ובטבלה אחת.

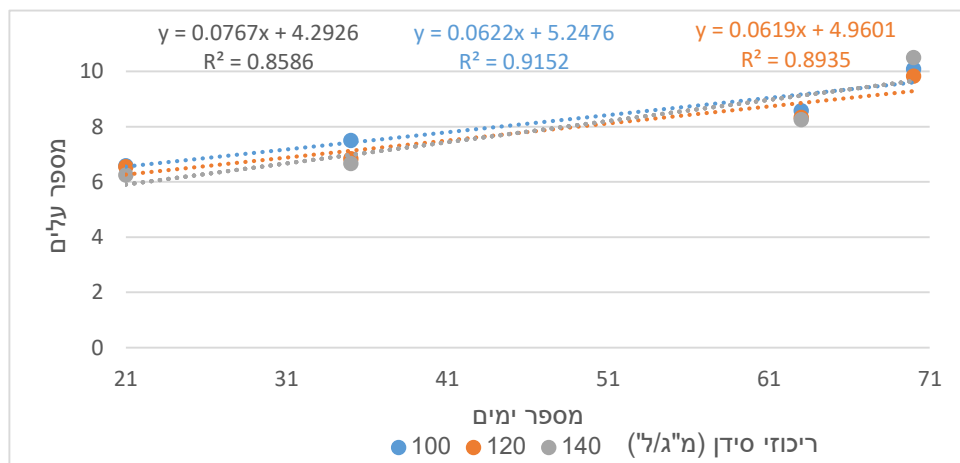
תוצאות העבודה יוצגו לפי הקטגוריות הבאות:

שלב א': מדד וגטטיבי.

שלב ב': מדדים רפרודוקטיביים.

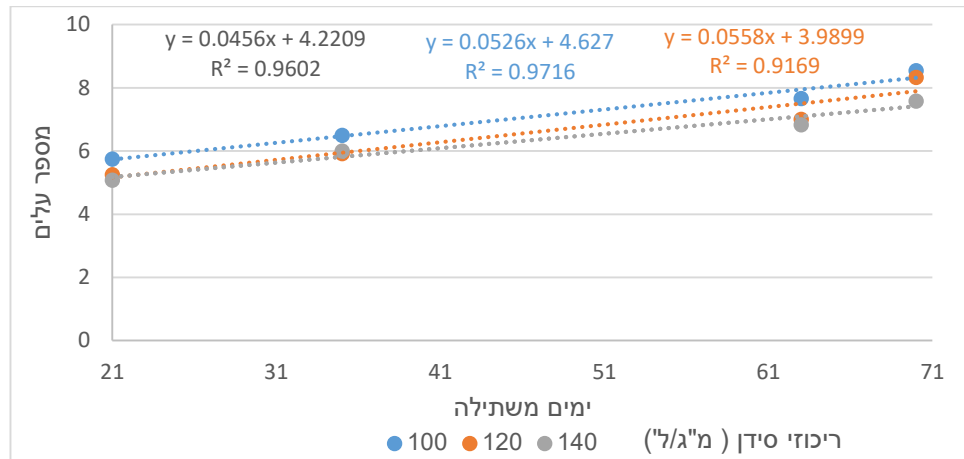
### 4.1 שלב א' - מדד וגטטיבי

גרף 1: מספר עלים ממוצע של תות השדה בריכוזי סידן שונים במערכת צינורות כתלות בימים משתילה



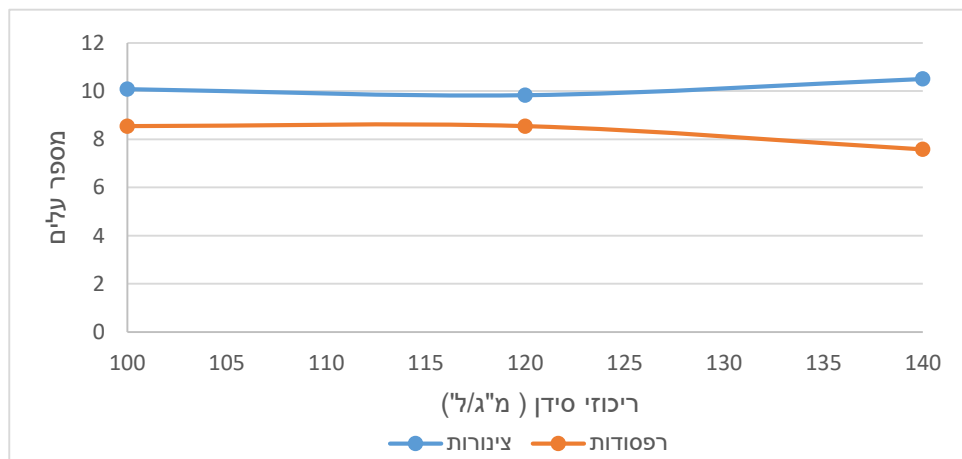
גרף זה מתאר מספר עלים ממוצע (יחידות) כתלות בזמן ביחס לריכוזי הסידן השונים במערכת צינורות. ניתן לראות כי מספר העלים עולה בקצב אחיד (לינארי) בכל ריכוזי הסידן (ערך מקדם ההתאמה היה גדול מ-0.85). קצב התווספות העלים בריכוזים של 100 ו-120 (מ"ג/ל) הוא כ-0.062 עלים ליום בעוד שבריכוז של 140 (מ"ג/ל) קצב התווספות גדול יותר 0.077 עלים ליום, הבדל של כ-25%.

**גרף 2: מספר עלים ממוצע של תות השדה בריכוזי סידן שונים במערכת רפסודות כתלות בימים משתילה**



הגרף מתאר מספר עלים ממוצע (יחידות) ביחס לזמן עפ"י ריכוזי הסידן (מ"ג/ל) השונים במערכת רפסודות צפות. מתוך הגרף אפשר לראות כי מספר העלים עולה בקצב לינארי בכל ריכוזי הסידן (ערך מקדם קו המגמה גדול מ-0.91). קצב עליית מספר העלים דומה בריכוזי סידן של 100 ו 120 (מ"ג/ל) סידן (ממוצע של 0.054 עלים ליום). קצב העלייה בריכוז 140 (מ"ג/ל) סידן הוא הנמוך משאר הטיפולים 0.045 עלים ליום (כ 20% פחות).

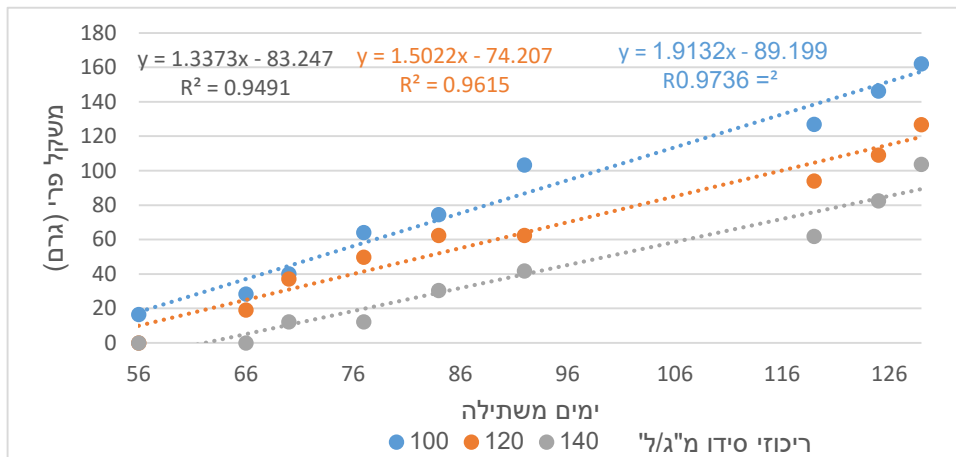
**גרף 3: מספר עלים ממוצע של תות השדה בריכוזי סידן שונים ביום 71 במערכות הידרופוניות של צינורות ורפסודות**



גרף זה מתאר את מספר העלים הממוצע של תות השדה בשתי מערכות הידרופוניות של צינורות ורפסודות ביום המדידה האחרון של הניסוי (71) בתלות בריכוזי הסידן השונים. נוכל לראות שההפרש בין שני הגרפים קרוב ויציב עד הריכוז של 120 (מ"ג/ל) סידן ומאותה נקודה הם מתחילים "להתרחק" והמגמה משתנה, גרף הרפסודות נמצא בירידה וגרף הצינורות נמצא בעלייה. כמו כן, מס' העלים במערכת הצינורות גדול יותר בכל 3 הריכוזים לעומת מערכת הרפסודות ( בכ- 20-40%).

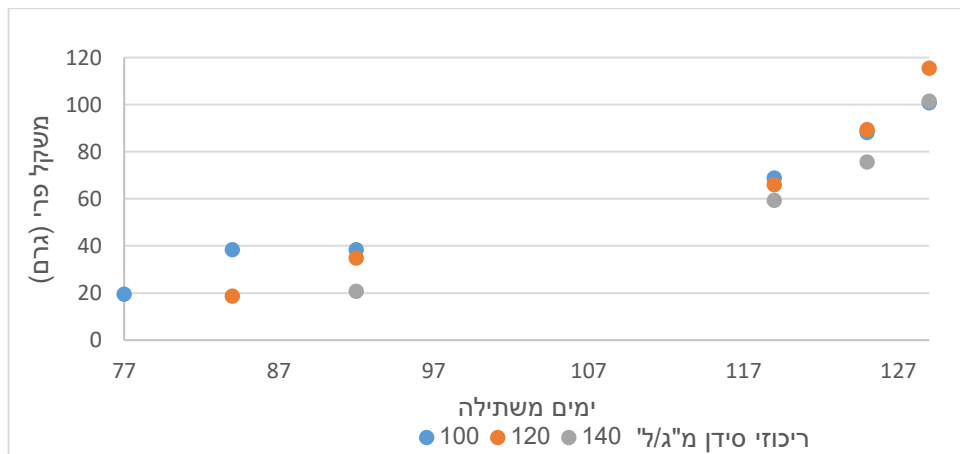
## 4.2 שלב ב' - מדדים רפרודוקטיביים

גרף 4: סה"כ משקל הפרי מצטבר של תות שדה במערכת צינורות כתלות בימים משתילה



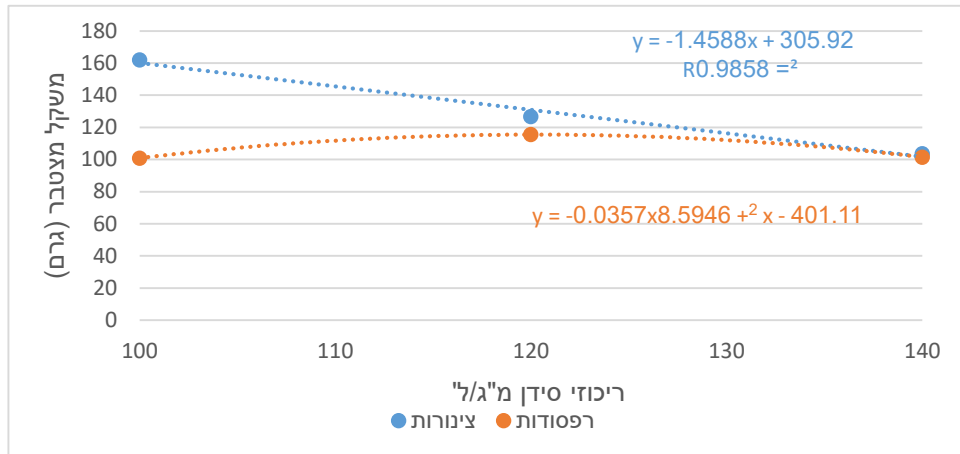
גרף זה מתאר את משקל הפרי המצטבר, ביחס לימים משתילה עפ"י ריכוזי הסידן (מ"ג/ל) השונים במערכת צינורות. בכל ריכוזי הסידן ניתן לראות שיש עליה לינארית בסה"כ משקל הפרי המצטבר (מקדם התאמה 0.95 ~). ניתן לראות שמשקל הפרי המצטבר של התות שדה שגדלו במים עם 100 מ"ג/ל סידן עלה בקצב הגדול ביותר של 1.9 גרם בכל יום, בעוד שמשקל הפרי המצטבר בשני הריכוזים האחרים עלה בקצב נמוך יותר של 1.5 ו-1.34 גרם בכל יום.

גרף 5: סה"כ משקל פרי המצטבר של תות שדה במערכת רפסודות כתלות בימים משתילה



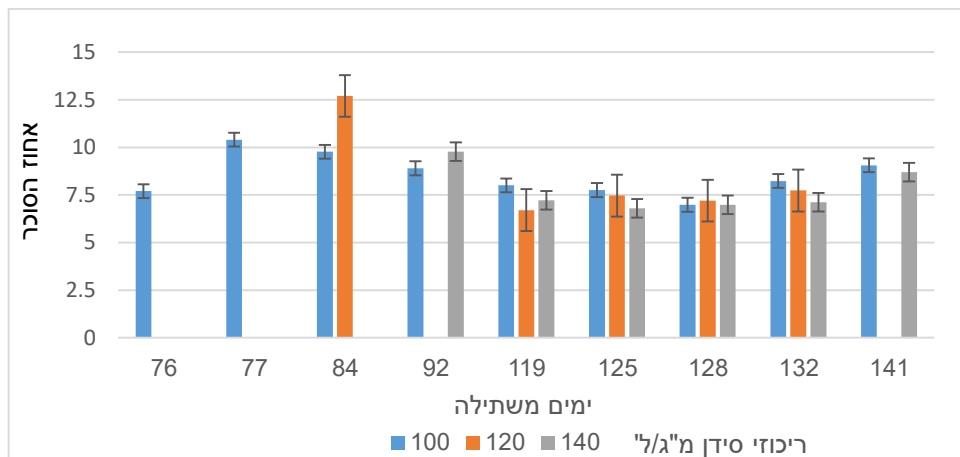
גרף זה מתאר משקל פרי מצטבר, ביחס לימים משתילה עפ"י ריכוזי הסידן (מ"ג/ל) השונים במערכת רפסודות. ניתן לראות כי הופעת הפרי הייתה בשלב מאוחר (כ-20 יום לאחר הופעת הפרי במערכת הצינורות), בנוסף בכל הריכוזי הסידן אפשר לראות 2 אזורים, אזור אחד עד יום 92 שבו קצב ההתווספות הוא נמוך, ואזור שני מיום 119 והלאה שבו קצב ההתווספות גדול משמעותית (בערך פי 3) בלי הבדל גדול ביחס לריכוזי הסידן השונים.

**גרף 6: משקל פרי מצטבר בסה"כ, כתלות בריכוז סידן במערכות הידרופוניות של רפסודות וצינורות**



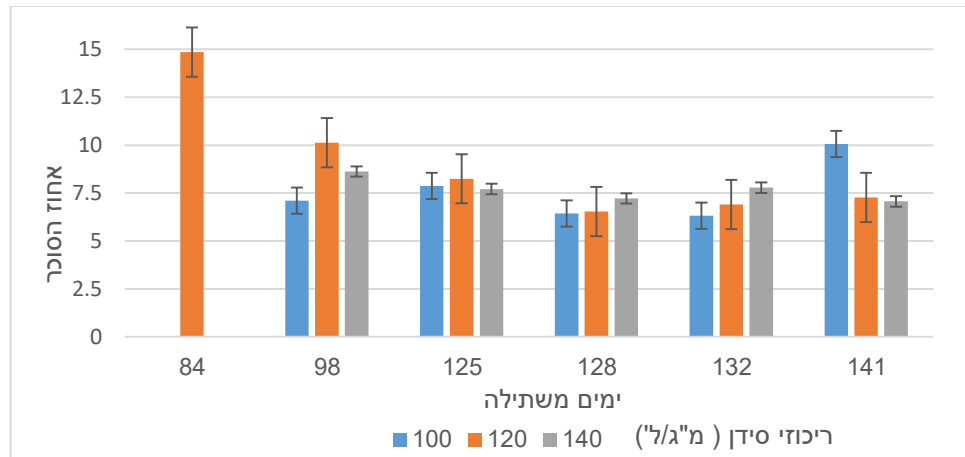
גרף זה מתאר את סה"כ משקל הפרי שהצטבר במהלך הניסוי בתלות בריכוז הסידן (מ"ג/ל) בהשוואה בין שתי המערכות ההידרופוניות. ניתן לראות שמשקל הפרי המצטבר במערכת הידרופונית של צינורות יורד באופן לינארי ככל שעולה ריכוז הסידן במים, בקצב של כ- 1.46 גרם על כל תוספת של 1 מ"ג/ל יוני סידן במי ההשקיה. במערכת רפסודות, נעשה חישוב לריכוז הסידן בו סה"כ משקל הפרי המצטבר הוא הרב ביותר, לפיו התקבל שריכוז של כ- 120 מ"ג/ל סידן הוא הריכוז בו התקבלה כמות מרבית של פרי.

**גרף 7: ערך הבריקס (% הסוכר) בפרי במערכת צינורות כתלות בימים משתילה**



גרף זה מתאר את ערך הבריקס (% הסוכר) בתלות בימים משתילה עפ"י ריכוזי הסידן (מ"ג/ל) השונים במערכת צינורות, לפי גרף זה ניתן לראות כי אחוז הסוכר (בריקס) גבוה עד ליום 92 ולאחר מכן הוא יורד, והחל מהיום ה-132 ישנה שוב עליה באחוז הסוכר. בנוסף, נוכל להבחין בכך שלא נראית מגמה ברורה בהשוואה בין הטיפולים השונים במערכת זו.

**גרף 8: ערך הבריקס (% הסוכר) בפרי במערכת רפסודות כתלות בימים משתילה**



גרף זה מתאר את ערך הבריקס (% הסוכר) בתלות בימים משתילה ע"פ ריכוזי הסידן (מ"ג/ל) השונים במערכת רפסודות בגרף זה אפשר לראות כי אחוז הסוכר (בריקס) גבוה עד ליום 98 ולאחר מכן הוא יורד, וביום 141 ישנה שוב עליה באחוז הסוכר. בנוסף בדומה לגרף 7 נוכל להבחין בכך שלא נראית מגמה ברורה בהשוואה בין הטיפולים השונים במערכת זו.

**טבלה 3: ממוצע כולל של ערך הבריקס (% סוכר)**

רפסודות	צינורות	ריכוזי סידן
7.56	8.53	100
7.82	7.28	120
7.68	7.76	140

הטבלה מתארת סך הכל את ערך הבריקס (% סוכר) במהלך הניסוי במערכות הידרופוניות של צינורות ורפסודות כתלות בריכוז הסידן.

## 5 דיון ומסקנות

עבודה זו בוצעה במטרה לבדוק מי מבין מערכות ההידרופוניקה בחממת בית הספר החקלאי כדורי, מתאימה יותר לגידול של תות שדה; מערכת רפסודות או מערכת צינורות וכן כיצד משפיע ריכוז הסידן על התפתחות ותנובה של צמח התות.

בוצעו שני ניסויים במקביל, עם אותם הטיפולים; האחד במערכת רפסודות והשני במערכת צינורות. שתי המערכות נבדלות זו מזו באופן הספקת המים המכילים בתוכם את חומרי ההזנה במערכת הצינורות זורם מים חלש באופן רציף כך ששורשי הצמח טבולים במים בחלקם ובמקביל חשופים לאוויר, לעומת מערכת הרפסודות, בה השורשים טבולים בתוך המים באופן קבוע והאוויר מסופק באמצעות אבני אוויר.

מבחינת מדדים וגטטיביים (מספר עלים), התקבלו תוצאות המראות כי המערכת ההידרופונית של הצינורות התאימה יותר לגידול התותים מאחר ובמערכת זו מספר העלים בסיום הניסוי גבוה יותר ממספר העלים שבמערכת הרפסודות בכ-15%. נמצא כי בריכוזים של 100 ו-120 (מ"ג/ל") סידן הפרש במספר העלים בין שתי המערכות הוא קבוע ויציב, אך בריכוז סידן של 140 (מ"ג/ל") נראה שינוי במגמה, כאשר מספר העלים במערכת הצינורות גדל לעומת מערכת הרפסודות שבה בריכוז זה מספר העלים קטן (גרף 3).

אם נבחן כל מערכת בנפרד, במערכת הצינורות (גרף מס' 1) אפשר לראות שקצב התווספות העלים בריכוזי סידן של 100 ו-120 (מ"ג/ל") הוא אחיד (0.062 ליום) לעומת קצב ההתווספות בריכוז 140 שהוא גדול יותר (0.77 ליום) הבדל של כ-25%.

במערכת הרפסודות (גרף 2) גם כן מתקבלת עלייה לינארית וההתנהגות בריכוזים של 100 ו-120 (מ"ג/ל) דומה, כאשר קצב התווספות העלים הוא כ-0.054 עלים ליום (נמוך יותר לעומת הריכוזים המקבילים במערכת הצינורות). בריכוז סידן של 140 (מ"ג/ל") קצב התווספות העלים נמוך יותר (0.046 עלים ליום), בשונה ממערכת הצינורות ששם בריכוז זה קצב ההתווספות היה הגדול ביותר לעומת 2 הריכוזים האחרים.

מבחינת מדדים רפרודוקטיביים, נבחן משקלם המצטבר של התותים ואחוז הסוכר (בריקס) בתותים.

במערכת הצינורות קצב התווספות של משקל הפירות המצטבר היה לינארי בכל הריכוזים (גרף 4), אך ניתן לראות השפעה שלילית של ריכוז הסידן על משקל הפירות - כמותם פוחתת ככל שריכוז הסידן עולה. בריכוז סידן של 100 (מ"ג/ל") התקבל משקל הפירות הרב ביותר וכן קצב ההתווספות היה הגדול ביותר (1.9 גרם ליום). בשני הריכוזים האחרים ניתן לראות את אותה התמונה של עלייה לינארית אך בשיפוע ומשקל פרי מצטבר נמוכים יותר.



במערכת הרפסודות (גרף 5) התקבלה תמונה שונה, במערכת זו הופעת הפרי הייתה מאוחרת יותר (כ-20 יום אחרי). כמו כן בכל הריכוזי הסידן אפשר לראות 2 אזורים, אזור אחד עד ליום 92 שבו קצב ההתווספות הוא נמוך, ואזור שני מיום 119 והלאה שבו קצב ההתווספות גדול משמעותית (בערך פי 3), לא נראה הבדל גדול ביחס לריכוזי הסידן השונים.

בהשוואה בין 2 המערכות ביחס למשקל תותים המצטבר (גרף 6) אפשר לראות שבריכוז סידן של 140 (מ"ג/ל") אין עדיפות למערכת אחת על פני השנייה. בשני הריכוזים הנמוכים יותר ניתן להבחין בהבדל, כאשר במערכת הצינורות משקל הפירות המצטבר גדול יותר ככל שריכוז הסידן נמוך יותר בקצב של כ-1.5 גרם על כל הפחתה של 1 (מ"ג/ל") סידן במי ההשקיה. לעומת זאת, במערכת הרפסודות נראה שהשפעה של ריכוז הסידן על משקל הפרי המצטבר פחותה, וכן נראה שלריכוז של 120 יש עדיפות ביחס לשני הריכוזים האחרים.

מתוך תוצאות אלו ניתן להסיק כי מערכת הצינורות מתאימה יותר לגידול תותים וריכוז סידן של 100 (מ"ג/ל") במערכת זו הוא המתאים ביותר מאחר ובשילוב זה (מערכת צינורות וריכוז סידן של 100 מ"ג/ל) התקבל משקל התותים המצטבר הרב ביותר. מבחינת מדדי צמיחה וגטטיביים לא נמצא הבדל גדול בין ריכוז סידן נמוך לריכוז הגבוה.

הסיבה להבדל בין המערכות יכולה לנבוע מהעובדה שבמערכת הרפסודות, בחממת כדורי, תחלופת המים איטית והמים נשארים "עומדים" למעשה, כתוצאה מכך עלולות להיווצר בעיות שיכולות להשפיע על מצב השורשים והתפתחות הצמח בעקבות זאת (ואכן השורשים נראו שחורים ולא בריאים).

כלומר מאחר ובמערכת הרפסודות השורש טבול כולו במים וכאשר קצב תחלופת המים איטי יכול להיווצר:

- א. מחסור נקודתי בחמצן בסביבות השורש
- ב. pH לא מתאים בסביבת השורש, שמתפתח כתוצאה מקליטת יונים הנמצאים במים ע"י השורשים ובמקביל פליטת יוני הידרוקסיל או יוני הידרוניום (תלוי בסוג היונים הנקלטים).
- ג. כאשר הצמח קולט יונים מהסביבה, נקודתית ריכוזם בסביבה הצמודה לשורש פוחת. אם סחרור המים איטי מדי המצב הזה יכול לגרום לריכוז נמוך מדי של חומרי הזנה בסביבת השורש.

לעומת זאת במערכת הצינורות השתילים מקבלים כל הזמן זרם "טרי" של מים שמהווה למעשה סביבה אחידה וקבועה לשורשים וכך נמנעים שינויים נקודתיים בריכוז חומרי ההזנה או שינוי pH. בנוסף הזרימה של המים והזרם הרדוד מאפשרים זמינות חמצן רציפה לשורשים כך שיקבלו את כמות החמצן שהם זקוקים לה. ההבדל העיקרוני בתנועת המים בין המערכות

יכול להסביר את ההבדל בהשפעה שונה של ריכוזי סידן בשתי המערכות, במערכת הצינורות שבה השורשים חשופים להרכב אחיד של המים (כתוצאה מהזרימה הרציפה) אפשר לראות שככל שריכוז יוני הסידן עולה יש לכך השפעה שלילית על משקל הפירות המצטבר בעוד שבמערכת הרפסודות שבה הריכוז המקומי ליד השורשים ככל הנראה נמוך יותר (ולכן ריכוז הסידן של 120 (מ"ג/ל") טוב יותר מהריכוז של 100 (מ"ג/ל")), בעוד שבריכוז של 140 (מ"ג/ל") נראית אותה השפעה שלילית של עלייה בריכוז יוני הסידן.

מדד נוסף שמהווה אינדקס לאיכות הפרי הוא אחוז הסוכר (טבלה מס' 1), אפשר לראות שאין הבדלים גדולים בין מערכת צינורות לרפסודות, למעט מערכת הצינורות עם ריכוז סידן של 100 (מ"ג/ל") שבה אחוז הסוכר גדול יותר (ב-8.5%). בשתי המערכות אפשר לראות תמונה דומה בשינוי בערך אחוז הסוכר; עד היום ה-98 אחוז הסוכר גבוהה יותר וחוזר לעלות מיום 132. אני משערת ששינוי זה נובע משינוי בטמפרטורת הסביבה כי הניסוי התחיל בעונת הסתיו כאשר הטמפרטורות היו גבוהות ביחס לעונת החורף (עד היום ה-92) ולאחר מכן שוב החלה התחממות לקראת האביב (החל מיום 132-)<sup>6</sup>.

לסיכום, כדי לגדל תותים בהידרופוניקה עדיף להשתמש במערכת הצינורות ולגדל את התותים בריכוז סידן של 120 (מ"ג/ל").

אני מציעה לערוך מחקר חדש ולבדוק איך משפיעים ריכוזי סידן נמוכים מ-120 (מ"ג/ל") על תנובת ו% בריקס של התות שדה. כמו כן ניתן ורצוי לבדוק מהו התנאים האופטימלים ביותר לגידול התות שדה במערכות ההידרופוניות שונות כגון מערכת ריקון והצפה (טוף).

---

<sup>6</sup> בדקתי את טמפ' הסביבה עפ"י תאריכי הניסוי באתר של השירות מטאורולוגי

## 6 ביבליוגרפיה

- ~ tech,N' (2017) איזו שיטת הידרו מתאימה לך? אוחר מתוך <https://naturetech.co.il/>
- ~ אשר, ד' י'. (22 מרץ 2018). איך יודעים שבא אביב? אוחר מתוך מכון דוידסון-הזרוע החינוכית של מכון ויצמן למדע
- : <https://davidson.weizmann.ac.il/online/sciencepanorama/>
- ~ בר-נר, ד' ד'. (7 7 2015) קשירת חנקן בצמחים. אוחר מתוך צמח השדה :
- <http://www.wildflowers.co.il/hebrew/ReadMore.asp?ID=605> גנאים, נ'. (2007)
- סיכום עונת המשתלות. אוחר מתוך: <https://www.agronet.co.il/>
- ~ גרטי, ד' א'. (2009) הפוטוסינתזה- מקור החיים בעולמנו. אוחר מתוך מכון דוידסון למדע
- [https://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/life\\_sci/](https://davidson.weizmann.ac.il/online/maagarmada/life_sci/)
- ~ גרו, ה'. (2004) הידרו גרו. אוחר מתוך <http://www.hydrogrow.co.il>
- ~גבאי, ר'. (2017) פפירוס.
- [https://www.papirusgan.co.il/%D7%91%D7%95%D7%98%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%94\\_%D7%A4%D7%95%D7%98%D7%95%D7%A1%D7%99%D7%A0%D7%AA%D7%96%D7%94](https://www.papirusgan.co.il/%D7%91%D7%95%D7%98%D7%A0%D7%99%D7%A7%D7%94_%D7%A4%D7%95%D7%98%D7%95%D7%A1%D7%99%D7%A0%D7%AA%D7%96%D7%94)
- ~ ודר-וויס, ד'. (2002) פוטוסינתזה והזנה מינרלית בצמחים. מעלות.
- ~ זאידן, ע'. (אוגוסט 2015) גידול ירקות בהידרופוניקה בישראל. מבזק ירקות (283), ע"מ 20-21.
- ~ כהן, ש', גולן, ר & מצרפי, ע' (2016). פיתוח טכנולוגיה לגידול תות שדה בפארן בערבה.
- ~ פפירוס- הפורטל הישראלי לגינון. (2018) די-שון- מה זה בכלל? אוחר מתוך: פפירוס – הפורטל הישראלי לגינון
- <https://www.papirusgan.co.il>
- ~ מייזלס, א'. (2014) השראת הפריחה בתות- שדה והשפעת צינור קצר על הקדמת ניבה. רחובות.
- ~ רימון, ד'. (2005) פוריות הקרקע מהדורה שלישית. בהוצאת דניאל רימון.
- ~ מורן, נ'. (2018) קליטת החמצן בצמח. אוחר מתוך בשער קהילה אקדמית למען החברה בישראל <http://www.bashaar.org.il>
- ~ מט"ח (2012) <https://science.cet.ac.il/science/energy/energy1.asp>
- ~ הידרומרקט (2018)
- <https://www.hydromarket.co.il/%D7%9E%D7%97%D7%A1%D7%95%D7%A8-%D7%91%D7%A1%D7%99%D7%93%D7%9F-ca-%D7%91%D7%A6%D7%9E%D7%97/>
- ~ הידרופוניקס, א'. (2014). הידרופוניקה - שיטות גידול. אוחר מתוך <http://il.co.h-i://htt>
- ~ כהן, מ'. (2014) ליבינג גרין <https://livinggreen.co.il/>

~ כריס סומרויל מ'ל'. (2013) . commercial biogas hydro-ponic .  
~ רימון, ד'. (2005) . פוריות הקרקע מהדורה שלישית. בהוצאת דניאל רמון.  
~ (USCB) 2015 . . Why do plants need oxygen? .  
N, Tech (2017) . איזו שיטת גידול הידרו מתאימה לך? אוחזר מתוך  
<http://naturetech.co.il> <http://livinggreen.co.il> מהי הידרופוניקה ? אוחזר מתוך

## 7 נספחים:

תמונה 5: גדילת שורשים במערכת רפסודות  
צפות של ריכוז סידן מ"ג/ל'

תמונה 6: השוואה בין צמחים הגדלו במערכת  
צינורות בריכוזי הסידן השונים



התמונות צולמו על ידי דניה חתוקאי בתאריך 17/02/2019

תמונה 7: תותים שנקטפו:



צולם על ידי דניה חתוקאי בתאריך 19/03/2019