

אולפנת "כפר פינס"

סמל מוסד: 340109

עבודת גמר בחקלאות

השפעת מי תמלחת בריכוזי מלח שונים על קצב גידול סליקורניה ועל איכות מי הגידול



מגישה: שרון קולטון

ת.ז 209626134



בס"ד

אולפנה "כפר פינס"

סמל מוסד 340109

טלפון 1599-533-555

כתובת: רמת קרניאל, כפר פינס מיקוד 3792000

מורה מלווה: מיכל כינרתי

שאלות החקר:

1. כיצד משפיעים מי תמלחת בריכוזי מלח שונים על מדדי גדילת ההלופיט סליקורניה

אירופאיה?

2. כיצד משפיע גידול הידרופוני של סליקורניה על קצב גדילת הסליקורניה ועל איכות

המים מליחים?

שם התלמידה: שרון קולטון

ת.ז. 209626134

כתובת: הגפן 1, חשמונאים 7312700

מספר טלפון: 0585611600

מנחה מקצועי: נתן שטאל, מפעלי נייר חדרה

מנחה: תמר ביאר

ת.ז. 033819715

טלפון: 0543520787

מקום העבודה: החווה החקלאית החממה בעין שמר

תאריך הגשה: שנה"ל תשע"ח ינואר 2018



תוכן עניינים

5..... תקציר

6..... 1. מבוא

מים בעולם

מקורות מים בישראל

טיוב בארות

הידרופוניקה

סליקורנה אירופאה

11..... 2. שיטות וחומרים

18..... 3. תוצאות

27..... 4. דיון ומסקנות

29..... 5. המלצות

29..... 6. תודות

30..... 7. ביבליוגרפיה

32..... 8. נספחים

תוכן איורים, גפרים וטבלאות

איורים

9..... איור 1 : הפן הביני באקוויפר החוף

12..... איור 2 : תיאור מדידות הסליקורניה

13..... איור 3 : מערכת הניסוי המנתי

14..... איור 4 : תיאור מערכת המים

14..... איור 5 : מערכת המים בניסוי המנתי



בס"ד

- איור 6 : תיאור המערכת ההידרופונית.....15
- איור 7 : מערכת הניסוי הרציף.....16
- איור 8 : הערכות למדידת החנקות והזרחות.....17
- איור 9 : הסליקורניה במערכת הרציפה בתחילת הניסוי ובסופו.....23

גרפים

- גרף 1 : גובה צמח בשבועות מתחילת הניסוי.....18
- גרף 2 : משקל העציץ בשבועות מתחילת הניסוי.....19
- גרף 3 : מספר הקטעים בצמח בשבועות מתחילת הניסוי.....20
- גרף 4 : מספר קטעים בגרדיאנט בשבועות מתחילת הניסוי.....20
- גרף 5 : גרף קצב גדילה של גובה ומשקל.....21
- גרף 6 : גרף קצב גדילה של גובה ומשקל.....22
- גרף 7 : קצב הגדילה בגרדיאנט במדדים השונים.....22
- גרף 8 : ריכוז הפוספט במי הניסוי המנתי בשבועות מתחילת הניסוי.....24
- גרף 9 : ריכוז האמוניה במי הניסוי המנתי בשבועות מתחילת הניסוי.....24

טבלאות

- טבלה 1 : מבנה הניסוי המקדים.....11
- טבלה 2 : מדדים, יחידות וכלי מדידה.....17
- טבלה 3 : תכולת הנוטריינטים במי התמלחת לגידול הסליקורניה.....26

תקציר

אוכלוסיות רבות בעולם סובלות כיום ממחזור של מי שתיה באיכות מספקת. מקורות המים המתוקים הולכים ומתמעטים, ואנו נדרשים למצוא פתרונות מקוריים לשימור מושכל ולמחזור המים הזמינים לנו. דרך אחת לעשות זאת היא ללמוד להשתמש במים ממליחים ומלוחים, שכן רוב המים על כדור הארץ בעלי מליחות מעל המליחות הראויה לשתיה. צמח הסליקורניה הינו הלופיט – צמח אוהב מלח, הגדל על מים מליחים. הוא משמש למאכל, כצמח תבלין, ובשל טעמו המלוח, אף משמש כתחליף מלח לאנשים הנמנעים מצריכת נתרן. קיימים מחקרים שבודקים את יעילות הסליקורניה כצמח המנקה מים המזוהמים בחנקות וזרחות ואף לייצור ביודיזל.

במחקר זה בדקתי את:

א. המליחות האופטימלית המתאימה לגידול סליקורניה.

ב. השפעת הסליקורניה על איכות מי הגידול.

ג. יעילות הגידול ההידרופוני של הסליקורניה.

על מנת לאמוד את הפוטנציאל של הסליקורניה כצרכן נוטרייטים ממים מליחים, ואת המליחות האופטימלית לגידול הסליקורניה במערכת ההידרופונית, הועמדו שתי מערכות ניסוי.

מערכת בשיטת ההצפה, בה נבדקה המליחות האופטימלית לגידול סליקורניה בהידרופוניקה, ומערכת זורמת, בה נבדקה איכות מי הגידול.

הניסוי הניב את טווח המליחות האופטימלי לתפוקת ביומסה בסליקורניה, והמערכת הזורמת הוכחה כיעילה לגידול חקלאי ארוך טווח.

1. מבוא

1.1 מים בעולם

מים הנם מרכיב חיוני לקיום חיים. כשני שלישי משטח הפנים של כדור הארץ מורכב ממים הנמצאים בעיקר באוקיינוסים ובקרחונים. בני אדם צורכים מים מתוקים על מנת להתקיים. אף על פי שכדור הארץ מלא במים, מעטים מהם ראויים לשתיה. 97.2% מהמים על כדור הארץ הינם מים מלוחים שאינם ראויים לשתיה. המים המתוקים האגורים בקרחונים, המהווים 2.15% מכלל המים על פני כדור הארץ, ראויים לשתיה אך אינם זמינים. אדי המים שבאטמוספירה ורטיבות בקרקע מהווים ביחד 0.0006% מסך המים המתוקים. מים מתוקים הראויים לשתיה אשר נמצאים בטווח השגה מהווים **פחות מרבע אחוז** מכלל המים אשר בכדור הארץ. **1**

כמות המים הזמינים בכדור הארץ מתמעטת וקצב צריכת המים על ידי האוכלוסייה גדל. מספר גורמים משפיעים על מגמה זו:

- אוכלוסיית העולם גדלה – כיום מונה אוכלוסיית האדם בכדור הארץ כשבעה מיליארד בני אדם, והיא צפויה לגדול לתשעה וחצי מיליארד עד 2050.
- העולם מתעשר – לא רק שהאוכלוסייה גדלה, גם הצרכים שלה גדלים. כיום, מספר האנשים בעלי מחשב או רכב פרטי, גדולה משהייתה וממשיכה לגדול. הייצור והשימוש במוצרים אלו צורך מים, וצריכת המים לאדם גדלה.
- שינוי האקלים – הטמפרטורה העולה על פני כדור הארץ גורמת לקצב אידוי מהיר יותר. בנוסף על כך, דפוסי הגשם משתנים. גשם יורד בעצמה רבה יותר לעתים פחות תכופות. תופעה אקלימית זו גורמת לבזבז רב של מים מכיוון שהאדמה הרוויה אינה מסוגלת לקלוט את כל כמות המים.
- מים מזוהמים – זיהום מים מוריד את כמות המים הזמינים לשימוש. כימיקלים ומזהמים שונים כגון חומרי הדברה, מחלחלים לתוך מאגרי המים, מי תהום ומים עיליים ופוסלים אותם מלהיות ראויים לשתיה אדם. בנוסף על כך, שאיבת יתר ממאגרי מים משפיעה גם היא על היקף ורמת הזיהום של המים ועל רמת מליחותם. טיהור מאגר מים מזוהמים הנו תהליך יקר ומורכב מבחינה טכנולוגית. **2**

מחסור המים בעולם הולך ומחריף, ובשל כך אנחנו צריכים ללמוד להשתמש במשאבים שלא השתמשנו בהם עד כה, כגון מים מליחים, על מנת לחסוך במים.

1.2 מקורות מים בישראל

בישראל שורר אקלים מגוון. בצפון הארץ שורר אקלים ים – תיכוני ובדרום הארץ שורר אקלים מדברי, עם רצועה דקה של אקלים חצי מדברי ביניהם. עונת הגשמים העיקרית אורכת כ-3 חודשים ושנת בצורת אינה אירוע נדיר. גם בישראל צריכת המים גדלה בעקבות הגורמים שצוינו לעיל, אך בישראל הבעיה חמורה עוד יותר, בשל האקלים ומיעוט מקורות המים. 3,4

מחסור זה משפיע על כל תחומי החברה בהם נעשה שימוש במים. הציבור הישראלי חונך לחסוך כל טיפה ולא לבזבז מים, אך החקלאות, צרכנית מים עיקרית, סובלת ממחסור מים בצורה חמורה. למחסור המים בחקלאות יש גם השלכות סביבתיות. שימוש אינטנסיבי בקרקעית לחקלאות לאורך זמן יוצרת בליה של הקרקע, הקרקע סופחת אליה מלחים ומזהמים שמקורם מדשנים ומזהמים שנשטפו לקרקע עם מי ההשקיה. כאשר אין מספיק מים, בין אם מגשמים ובין כתוצאה מהשקיה, מזהמים אלו מצטברים בקרקע, והקרקע נשאת רוויה במזהמים ומלחים. בישראל מצב זה חמור ביותר, משום שעל מנת לחסוך במי שתיה משתמשים במי קולחין להשקייה.4

במדינת ישראל קיימים מספר מקורות מים לשתייה- **מים עיליים (בעיקר מאגם הכינרת), מים מותפלים ומי אקוויפרים (מי תהום)**.

1.2.1. הכינרת

אגם בצפון הארץ. נפחה המרבי של הכנרת הוא 4.3 מיליארד מ"ק, ונפחה המינימלי הנו 3.6 מ"ק. הכינרת מספקת כרבע מצרכי המים של ישראל, ובעבר סיפקה יותר. מאז שהחלו במפעל התפלת מי ים לשתייה, הצורך בשאיבה ממנה ירד.6

1.2.2 מים מותפלים

בישראל מתפילים 300 מיליון מ"ק לשנה במתקנים להתפלת מי ים. נכון ל-2012, עד 2050 יותפלו 1750 מיליון מ"ק לשנה. בישראל מתפילים מים בתהליך שנקרא אוסמוזה הפוכה reverse osmosis. זוהי שיטה זולה יחסית לשיטות אחרות. בנוסף, כמות האנרגיה המושקעת בהפעלת המערכת תלויה במליחות המים, כלומר כאשר המים לא מאוד מליחים, תידרש פחות אנרגיה כדי להתפיל אותם.

אוסמוזה היא תהליך בו מים עוברים מצד לצד של ממברנה חדירה למחצה ללא צורך בהשקעת אנרגיה או לחץ. ממברנה חדירה למחצה מעבירה מים בלבד ולא מלחים ו/או מומסים אחרים (כמו סוכרים וכו') על מנת ליצור שיווי משקל כימי וריכוז מלחים שווה בין שני הצדדים של הממברנה. הממברנה מפרידה בין שני תאי תמיסה. בתא אחד תמיסת מלח מרוכזת ובתא שני מים נקיים או תמיסת מלח דלילה. המים עוברים דרך הממברנה מהאזור בו תמיסה המלח דלילה לאזור בו תמיסה המלח מרוכזת. סיום מעבר המים מתקיים כאשר ריכוז המלח שנמהל בתוספת המים שעברו לצד התמיסה המרוכזת **נמצא בשווי משקל** עם הריכוז שעלה בצד התמיסה הדלילה פחות המים שעברו לצד התמיסה המרוכזת. במצב של שיווי משקל כימי בין שתי התמיסות- מעבר המים פוסק. הלחץ האוסמוטי הינו הפרש גובה התמיסות בין שני צדדי הממברנה.7,8

אוסמוזה הפוכה (reverse osmosis) היא תהליך בו מעבירים מים עם מלחים ומזהמים בצינור המכיל ממברנות חדירות למחצה ומפעילים עליהן לחץ גבוה. הלחץ המוגבר נדרש כדי להוציא את המים מתמיסת המים המכילה מלחים ומזהמים נגד מפל הריכוזים הטבעי. מתהליך זה מתקבלים שני זרמים: מים שעברו את הממברנות הנקראים "מים מותפלים" ומים שלא עברו את הממברנות המכילים את המלחים והמזהמים הנקראים "מי רכז".

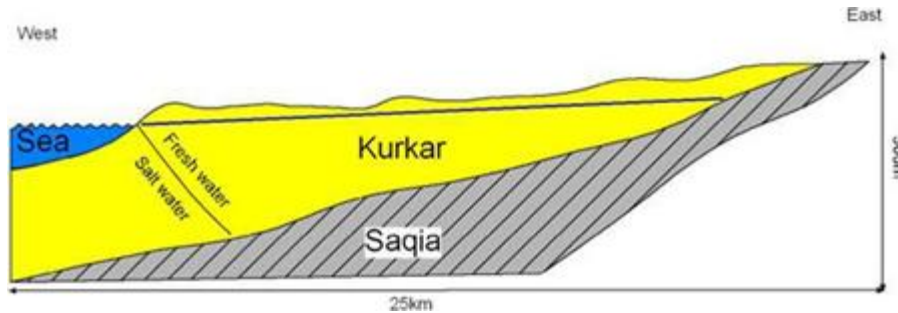
כאשר מתפילים מי ים למי שתייה, מותפלים בדרך כלל כמחצית מכמות המים המקורית והמחצית השנייה, מי הרכז, היא בעלת מליחות גבוהה פי שתיים ממליחות מי המים המקורית. ישנן מספר דרכים להיפטר מתמלחת זו: הזרמתה למים עיליים: ימים, אגמים, נהרות (עם או בלי הזרמתם למכון טיהור שפכים לפני). החדרתם למי תהום, פיזור על הקרקע, אידוי בבריכות אידוי, מערכת להפקת מלח ושימושים חקלאיים.

השיטה המקובלת במתקני התפלה למי שתייה המתפילים מי ים, הינה הזרמת התמלחות לים, משום ששיטה זו יחסית זולה ופשוטה. העלות העיקרית שלה היא בהעברת המים מהמתקן לחוף. מתקני ההתפלה בישראל ממוקמים לרוב ליד חופים, לפיכך עלות זו אינה גבוהה. כיון שמקורים של המים מהים, לא נדרש להעבירם תהליך טיהור לפני החזרתם לים. למתקנים אלו יש "התר הזרמה לים" המאפשר להם להחזיר את התמלחת למי הים על בסיס העובדה כי ההבדל היחיד בין התמלחת למי הים המקוריים הינו ריכוז המלח ואין תוספת של חומרים או כימיקלים נוספים לתמלחת. ישנם מחקרים הטוענים כי לשיטה זו יש השלכות אקולוגיות לים.

מתקני התפלה שמתפילים מי בארות מלוחים, מתקני התפלה המתפילים מי שפכים של מפעלים פרטיים או מתקני התפלה המוקמים במט"שים אינם בעלי היתר הזרמה לים והם מחויבים בעלות של הובלה וטיפול בתמלחות כמו טיפול בשפכים מסוכנים. עלות זו מייקרת את תהליך ההתפלה. 8.

1.2.3 אקוויפרים

מי תהום הינם מקור מים מתוקים חשוב בישראל. בישראל ישנם שני אקוויפרים עיקריים, אקוויפר החוף ואקוויפר החר. אקוויפר החוף משתרע על פני שטח של 120 קילומטר מתחת רצועת חוף, מקיסריה בצפון ועד לרצועת עזה בדרום. תפוקה המים ממנו היא כ 360 מלמ"ש. אקוויפר זה הינו בסכנת המלחה, וכיום 63% מהמים אשר נשאבים ממנו אינם עומדים בתקן לאיכות מי שתייה. הגורם העיקרי להמלחת מי האקוויפר הוא שאיבת יתר. שאיבת יתר נגרמת כאשר קצב השאיבה עולה על קצב המילוי הטבעי של האקוויפר. בצדו המערבי של האקוויפר, מימיו המתוקים ומי הים המלוחים מופרדים על ידי מישור תת קרקעי. על מנת לשמר את המאזן ולוודא שמי הים לא יחדרו ויזהמו את מי האקוויפר, על מי האקוויפר להיות במפלס גבוה יותר, שכן מי הים הינם כבדים וצפופים יותר. שאיבת יתר מהאקוויפר גוררת ירידת מפלסים של 6 - 15 מטרים באזורים מסוימים של האקוויפר. ירידת מפלס משמעותית כגון זו גורמת לשינוי כיוון הזרימה של המים באקוויפר. כיוון הזרימה המקורי שהיה ממזרח למערב, השתנה לזרימה ממערב למזרח. בשל תופעה זו הופסקו שאיבות מבארות באזור תל אביב. בנוסף למי הים, קיימים גם אקוויפרים מליחים מזרחית לאקוויפר החוף, אשר ממליחים גם הם את מימי האקוויפר. גם תופעה זו מתגברת כאשר מפלס המים באקוויפר נמוך. בנוסף על כך, האקוויפר משתרע מתחת לשטח המיושב ומתועש בצפיפות וחומרים מהחקלאות ומהתעשייה מחלחלים לתוכו ומזהמים אותו. קצב חלחול המזהמים לאקוויפר אורך מספר שנים ולכן, הזיהום באקוויפר כיום נובע מפעולות העבר ורק בעוד כמה שנים נראה את הנזק של הכימיקלים בהם אנו משתמשים כיום. 9,10



איור מספר 1: הפן הביני באקוויפר החוף. 11

1.3 טיוב בארות

ישנן תכניות ארציות לטיהור מי הבארות שזוהמו או הומלחו על ידי שיטת אלקטרו-דיאליזה סלקטיבית (שיטה להפרדה בין מים לבין המלחים המומסים במים באמצעות ממברנה חצי חדירה, המצויה בשדה חשמלי המעבירה יונים טעונים בלבד). האלקטרו-דיאליזה היא שיטה יקרה יותר מאוסמוזה הפוכה, ולכן כדאי להשתמש בה רק כאשר יש בתמיסה ריכוז גבוה של יונים, כמו חנקות במים. מתקן גדול הפועל בשיטה זו נמצא ליד קיבוץ משאבי שדה בדרום והוא מתפיל כ- 2,500 מ"ק מים מליחים ביממה. לרוב, בארות אלו מזוהמות בשאריות דשן או כימיקלים אחרים. רשות המים משקיעה בטיוב בארות האלה כאשר שיש פתרון מוסכם למי הרכז. תנאי זה מקשה על ביצוע תהליך הטיהור, משום שעל פי תקנות המשרד לאיכות הסביבה אסור להזרים את מי התמלחת לביוב והזרמתם לים ולנחלים דורשת אישורים וטיהור נוסף. איסור זה נובע מכך שמי הרכז מכילים ניטראט המזיק לאקולוגיה הימית. 12,13,14

1.4 הידרופוניקה

הידרופוניקה הינה שיטת גידול צמחים כשמצע הגידול שלהם הינו מים ולא אדמה. האדמה חשובה לצמחים משום שהיא משמשת מאגר לנוטריאנטים חשובים שצמח צריך, אך ניתן לשים את הנוטריאנטים הללו במים, ולגדל אותם כך. ישנן כמה שיטות לגידול הידרופוני, לדוגמא, בהצפה, אירופוני, NFT, וטפטוף. שיטת NFT כוללת מערכת שבה הצמחים נמצאים בצינור שדרכו מועברים המים עם הנוטריאנטים. המים מועברים במערכת בסחרור – הם נשאבים ממאגר, עוברים במערכת, ונופלים חזרה לתוכו. גידול בהצפה הינו גידול של הצמח בתוך מיכל עם מים מועשרים עומדים. 15

1.5.1 סליקורנה אירופאה

הצמח סליקורניה אירופאה הנו הלופיט. הלופטים הנם צמחים שפיתחו עמידות למליחות באופן טבעי, וחלקם אף צריכים מליחות זו על מנת לשרוד. על מנת לשרוד בתנאי המליחות שבהם הוא חי, הצמח צורך כמות מינימאלית של מים וכך סופח פחות מלח. עלי סליקורניה עבים ובעלי שטח פנים קטן ומוגבל על מנת להקטין את רמת הטרנספירציה, והשורשים בנויים כך שהם סופחים כמה שפחות מתכות. מלח עודף הנספח לצמח נשמר בעלים הנמוכים והמבוגרים של הצמח, שהופכים לצהובים או אדומים עד שהם מתים, בעוד ששאר הצמח נשאר ירוק. המליחות האופטימלית לגידול הסליקורניה היא כמחצית מהמליחות של מי ים. הצמח סליקורניה הנו צמח חד שנתי סוקולנטי (בשרני) הפורח באוגוסט וספטמבר. הסליקורניה גדלה בביצות

מלוחות, בדיונות חול על אדמה מליחה ולעתים באזורים מליחים אשר רחוקים מהים. הצמח נפוץ באירו אסיה, צפון אמריקה ודרום אפריקה. בארץ ניתן למצוא אותו על מישור החוף וגם בסביבות ים המלח ובמשתלות המייצאות סליקורניה באזור הערבה. 16, 17, 18

הסליקורניה עשירה בסודיום קרבונט ולכן השתמשו בו בעבר ליצור סבון וזכוכית. צמח הסליקורניה הנו אכיל, טעמו מלוח וניתן להשתמש בו בתור תחליף למלח בסלטים ותבשילים שונים. בסליקורניה מגוון כימיקלים, כולל אנטיאוקסידים, שנותנים לה ערך תזונתי פוטנציאלי רב. הסליקורניה עלולה לספוח מזהמים מהמים, ונמצאו בה חומצות אוקסליות וספונין, שברמות גבוהות מהם עלולות לגרום נזק בגוף. 19

1.5.2 מחקרים שהתבצעו בנושא הסליקורניה

מחקרים מצביעים על פוטנציאל רב של הסליקורניה כביופילטר למים מחקלאות ימית.

במחקר שהתבצע באירלנד, נבדקה יכולת הסליקורניה לגדול על מים ששמשו לגידול צדפות, במהולים שונים של מי הצדפות ומים מתוקים. נמצא שגידול סליקורניה ב 100% מי צדפות הפחיתו משמעותית את ריכוזי החנקות והזרחות, אך תמותת הצמחים הייתה גבוהה והם לא שרדו לאורך זמן. במהולים שונים, הצמחים גדלו טוב יותר. 17

מחקר אחר שבוצע בישראל, הראה שבמערכת אגן ירוק גידול הסליקורניה בינו פתרון כלכלי יותר מגידול הלופיטים אחרים באגן ירוק (Constructed wetland) ובמערכות דומות אחרות לטיהור מי שפכים מלוחים, משום שניתן למכור אותה וכך להחזיר חלק מעלויות הטיפול. 20

מחקר העוסק בהפקת ביודיזל מסליקורניה, גידול הסליקורניה הינו חלק מ חקלאות ימית שלמה, המתחילה בגידול בדגים או חסילונים. מי הדגים ממשיכים להשקית הסליקורניה, שמזרעיה מפיקים את הדלק הפוטנציאלי. לאחר מכן המים ממשיכים לחורשת מנגרובים, המטהרים את המים ומונעים מהם להיכנס לים ולזהם אותו. 21

מטרות העבודה

בחינת השימוש במי תימלחת לצורך גידול סליקורניה.

שימוש במי התימלחת לגידול צמחים עשוי לסייע בפתרון בעיית הטיפול בתמלחות מי התפלה של שפכים תעשייתיים ולהוות שימוש חקלאי במי בארות מליחים ומזוהמים ע"י גידול בעל ערך כלכלי.

שאלות חקר

1. כיצד משפיעים מי תמלחת בריכוזי מלח שונים על מדדי גדילת ההלופיט סליקורניה אירופאיה?

2. כיצד משפיע גידול הידרופוני של סליקורניה על איכות המים המליחים?

2. שיטות וחומרים

על מנת לבחון כיצד משפיעים מי תמלחת התפלה בריכוזי מלח שונים על מדדי גדילת ההלופיט סליקורניה אירופאיה וכיצד משפיע גידול הידרופוני של סליקורניה על איכות המים המליחים תוכננו שני ניסויים: ניסוי מנתי וניסוי רציף.

מערך הניסוי המנתי כלל גידול הידרופוני בהצפה של צמחי סליקורניה במכלים בריכוזי מלח שונים.

מערך הניסוי הרציף כלל גידול הידרופוני במערכת זורמת של צמחי סליקורניה עם ובלי צמחי סליקורניה.

על מנת להתנסות בגידולי סליקורניה במים מליחים בתנאי החממה בעין שמר, ועל מנת למצוא את המליחות האופטימלית לגידולם ביצענו ניסוי מקדים במרץ 2017.

2.1 מערכת הניסוי מקדים

לצורך בחינה ראשונית של טווח המליחויות המאפשר גידול הצמח סליקורניה אירופיה, השתמשתי במים מליחים המדמים מי תמלחת (טבלה 2).

גידול	טיפולים	מדדים	נפח מים לכל מיכל
סליקורניה (5 צמחי סליקורניה בכל טיפול)	1. מי רכוז בריכוז טבעי	גובה הצמח, מספר ענפים	4.5 ליטר*5 חזרות
	1.5 גרם/לליטר		
	2. מי רכוז מרוכזים פי 2		
	3.0 גרם/לליטר		
	3. מי רכוז מרוכזים פי 5		
	7.5 גרם/לליטר		
	4. מי רכוז מרוכזים פי 10		
15.0 גרם/לליטר			

טבלה 1: מבנה הניסוי המקדים

השתילים גודלו במכלי פלסטיק פתוחים, בעלי נפח 4.5 ליטר שמולאו בטוף.

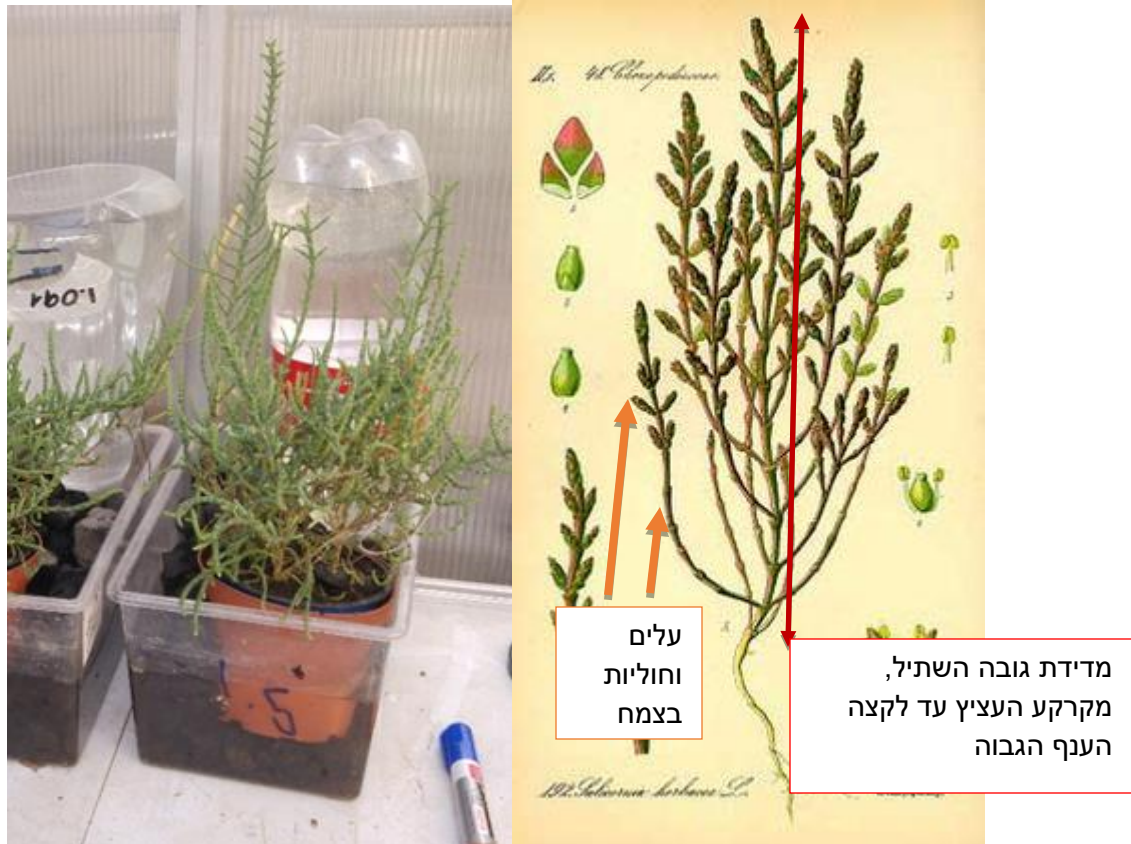
בכל מיכל נשתלו בתוך הטוף 5 צמחי סליקורניה שהיוו חזרות של אותו טיפול. המיכלים מולאו במים בריכוזי מלח שונים - 1.5, 3, 7.5 ו-15 גרם NaCl לליטר ו-2 מ"ל של דשן שפר נוזלי לליטר מים.

הצמחים נמדדו במשך ארבע שבועות, אחת לשבוע: גובה הצמחים נמדד בס"מ ונספרו כל העלים בכל שתיל.

המדדים הנבדקים:

גובה (ס"מ) – ממדידה מגובה האדמה שבעציץ עד לגובה הצמח עם סרגל.

ספירת עלים – ספירת כל העלים על כל ענף בכל שתיל.



איור 2: תיאור מדידות הסליקורניה

תוצאות הניסוי המקדים (מצורפות בנספח לעבודה) מראות כי ריכוז המלח האופטימאלי לגידול סליקורניה במערכת מנתית הוא 1.5 גרם לליטר מלח.

במהלך המדידות שבוצעו בניסוי המקדים נחשפו מספר בעיות ששימשו אותי בתכנון המערכת המנתית בניסויים המרכזים של העבודה:

- א. בניסוי המקדים לא סימנתי את גובה המים במיכל, כך שבזמן הוספת המים, לא הוספתי כמות זהה בכל פעם. בניסוי המנתי המרכזי דאגתי למדוד את המיכלים, ובנוסף, השתמשתי במערכת ששמרה על מאזן המים.
- ב. בניסוי המקדים המיכלים היו קטנים יחסית ולשתילים לא היה לאן לגדול ולהתפתח. בניסוי המרכזי המנתי היו פחות צמחים בכל מיכל.

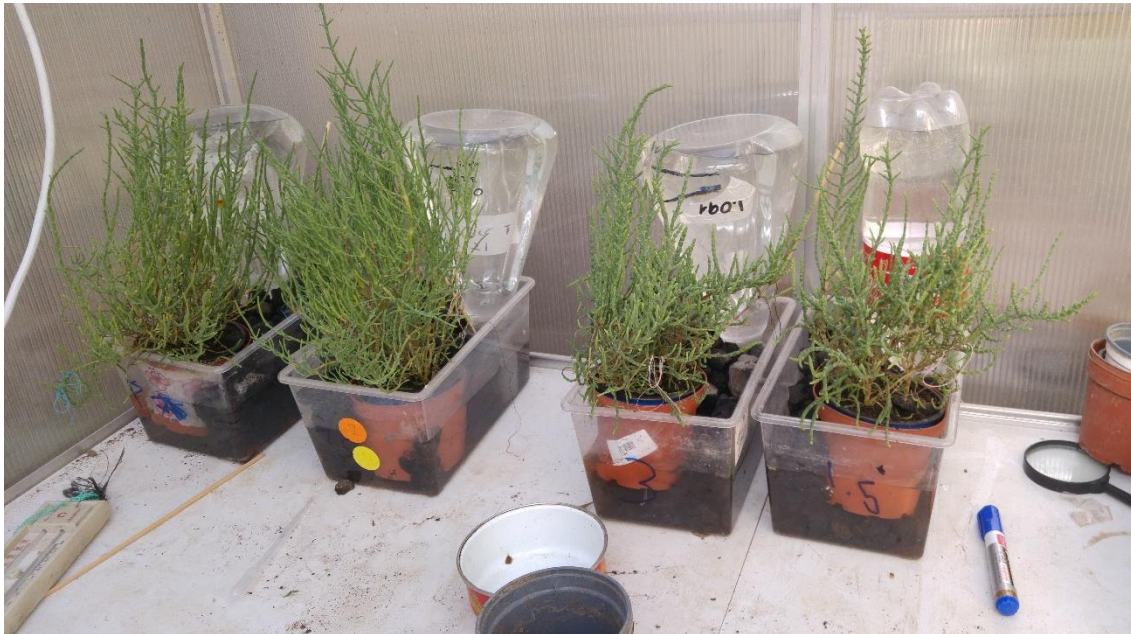
ג. בניסוי המקדים, בשל החום ששרר בחממה, קצב האיידוי היה גבוה מאד וכמות המים שהתאדה משבוע לשבוע הייתה משמעותית וגרמה לעקה בחלק מהצמחים. את הניסוי המרכזי ביצענו בחממת ממוזגת ב-25°C צלזיוס.

ד. בניסוי העיקרי הוספנו מדד של משקל העציץ. מדד זה מתחשב גם בגדילת נוף העציץ לרוחב ולא רק במדדי גובה.

ניסוי מנתי- תיאור המערכת

מטרת הניסוי: לבדוק את רמת המליחות האופטמלית לגידול הסליקורניה.

תיאור המערכת: מכלים בנפח 4.5 ליטר, שמולאו בטוף. בכל מיכל שוקע עציץ פלסטיק המכיל 3 שתילי סליקורניה בוגרים.



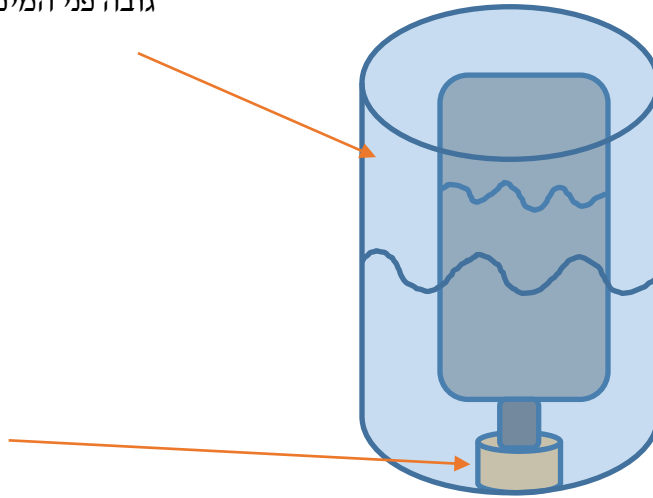
איור 3: מערכת הניסוי המנתי

מילאתי כל מיכל ב 4.5 ליטרים של מים מליחים בריכוז מלח שונה והוספתי 1 מ"ל לליטר דשן בכל מיכל.

על מנת למנוע התייבשות, כהפקת לקחים מהניסוי המקדים, יצרנו בכל מיכל מערכת שתשמור על גובה מפלס המים במיכל הניסוי. המערכת הורכבה מבקבוק זכוכית קוני שמולא במים מזוקקים, והונח הפוך, כשפתחו מונח בתוך בסיס המרחיק את פיית הבקבוק מרצפת הכלי, אך משאירו שקוע מתחת למים (איור 4). מערכת זו מאפשרת שמירה על מפלס המים בצורה רציפה על ידי חוק כלים שלובים מבלי לפגוע בריכוז המליחים הראשוני.

המערכת שומרת על
גובה פני המים קבוע

המעמד שעליו מונח
הבקבוק הפתוח
פיית הבקבוק צריכה
להיות מתחת לפני המים
וכמה סנטימטר מעל
רצפת המיכל. כאשר פני
המים במיכל יורדים בגלל
האיבוד מתחת למפלס
המים בתוך הבקבוק,
המים מהבקבוק
משתחררים עד שמפלס
המים במיכל משתווה
למפלס המים בבקבוק.



איור 4: תיאור מערכת המים



בקבוק עם מים
מזוקקים בנפח 2
ליטר

מעמד מתחת לפני
המים כך שהפיה
שקועה במים

איור 5: מערכת המים בניסוי המנתי

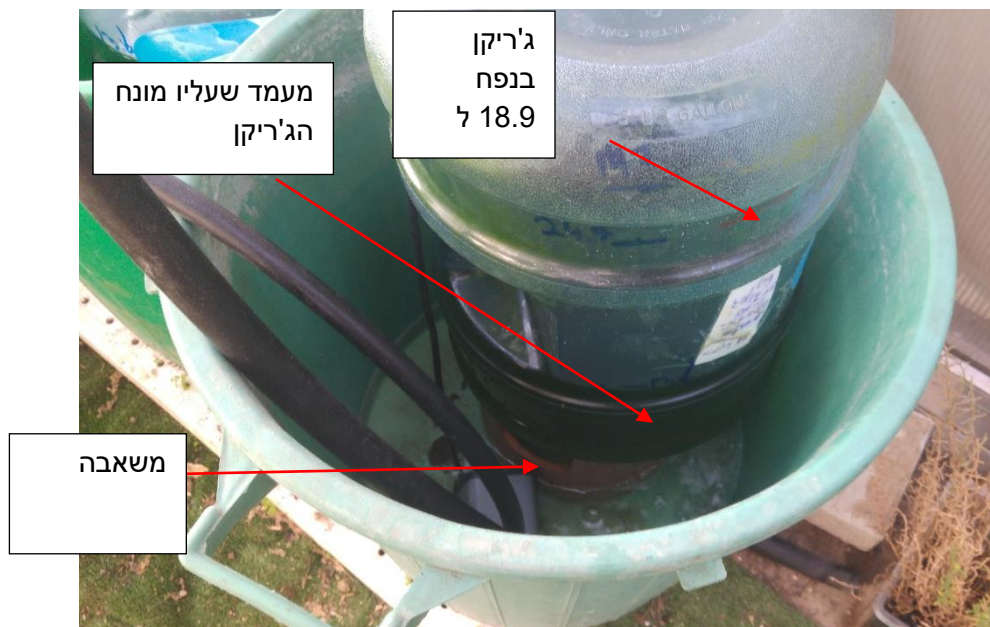
ניסוי רציף- תיאור המערכת

מטרת הניסוי: בחינת קצב גידול הסליקורניה ואיכות מי הגידול (חנקות וזרחות) במערכת זורמת בה ריכוז המים משתנה באופן רציף כתוצאה מאידוי.

תיאור המערכת: המערכת הרציפה נבנתה כזוג מערכות הידרופוניות זורמות באופן רציף. המערכות נבנו מ-2 צינורות ביוב בקוטר 11 ס"מ שהונחו על מתקן שיפועי. רגל קדמית של המתקן בגובה 1 מטר ורגל אחורית של המתקן בגובה 1.2 מטר כך שהמערכת הזרימה את המים בגרביטציה למיכלים בנפח 30 ליטר. משם נשאבו המים לראש המערכת בסחרור. בתוך מיכל המים הותקנה מערכת לשמירת מפלס גובה המים במיכל. המערכת נבנתה מגיריקן בנפח 19 ליטר בעל פיה צרה אשר הונח על בסיס בצורה טבעת שקוטרו גדול מקוטר פיית הבקבוק, כך שהפייה מתחת למים אך לא נוגעת בקרקעית המיכל. מערכת זו מאפשרת שמירה על מפלס המים בצורה רציפה על ידי חוק כלים שלובים. המים בתוך הגיריקן בריכוז 1.5 ג"ל, עם תוספת של 1 מ"ל לליטר דשן. (איור 6)

שתי המערכות הונחו מקבילות זו לזו בחממת ממוזגת בטמפ' של 25 מע"צ והצינורות מולאו באבני טוף. בצינור אחת נשתלו שמונה שתילי סליקורניה בשלושה עציצים. המערכת המקבילה שימשה לביקורת, ולא נשתלו בה צמחי סליקורניה (איור 7)

לצורך הניסוי הרציף הועמדה מערכת ניסוי בחממה אשר החל ביוני. הצמחים לא התאקלמו במערכת שבועיים הם מתו. לאחר התייעצות הוחלט להעביר את המערכת לחממת ממוזגת בטמפורה קבועה של 25 מעלות צלזיוס.



איור 6: תיאור המערכת ההידרופונית:



איור 7: מערכת הניסוי הרציף

מהלך המחקר

תהליך המחקר ארך 7 שבועות במהלכם בוצעו מעקב אחר קצב גדילת צמחי הסליקורניה, איכות מי הגידול וטיפול שוטף במערכת. התבצעו חמש מדידות במרווחים של 8-10 ימים בתאריכים: 16.7, 24.7, 3.8, 13.8, 23.8. תאריכי המדידה מסומנים בגרפים במספרים 1 עד 5 בהתאמה. בכל יום מדידה בוצע סט מדידות מלא ומילוי מים במערכת התבצע במידת הצורך.

לצורך זיהוי הענפים שנבחרו לבדיקת גובה שתיל ומספר עלים סימנתי בכל שעציץ שלושה ענפים בצבעים שחור, כחול, או ורוד, ענף אחד מכל צמח. תוצאות ספירת הקטעים תועדו מענפים אלו בלבד. צבעים אלו גם שימשו לזיהוי הצמחים בפרק התוצאות.

מדדי הניסוי

שיטת מדידה	כלי מדידה	יחידות	מדד
בדיקה אחת לשבוע	Eutech cyberscan con 11 מד מליחות מעבדתי נייד	גרם לליטר	מליחות
בדיקה אחת לשבוע	AquaPro water tester conductivity meter מד מוליכות נייד מעבדתי	מכשיר – המרה לגרם לליטר	מוליכות
מגובה אדמת העציץ עד גובה הצמח בתשעים מעלות	סרגל	סנטימטר	גובה השתיל
מפרקי הצמח, על ענף שנבחר כמייצג את השתיל בתחילת הניסוי, וסומן בחוטי תפירה בצבעים שונים.	ספירה	מספר	מספר קטעי השתיל
	אינדקטור קולורימטרי	מג"ל	ניטראט, ניטריט, אמוניה, פוספט

טבלה 2: מדדים, יחידות וכלי מדידה

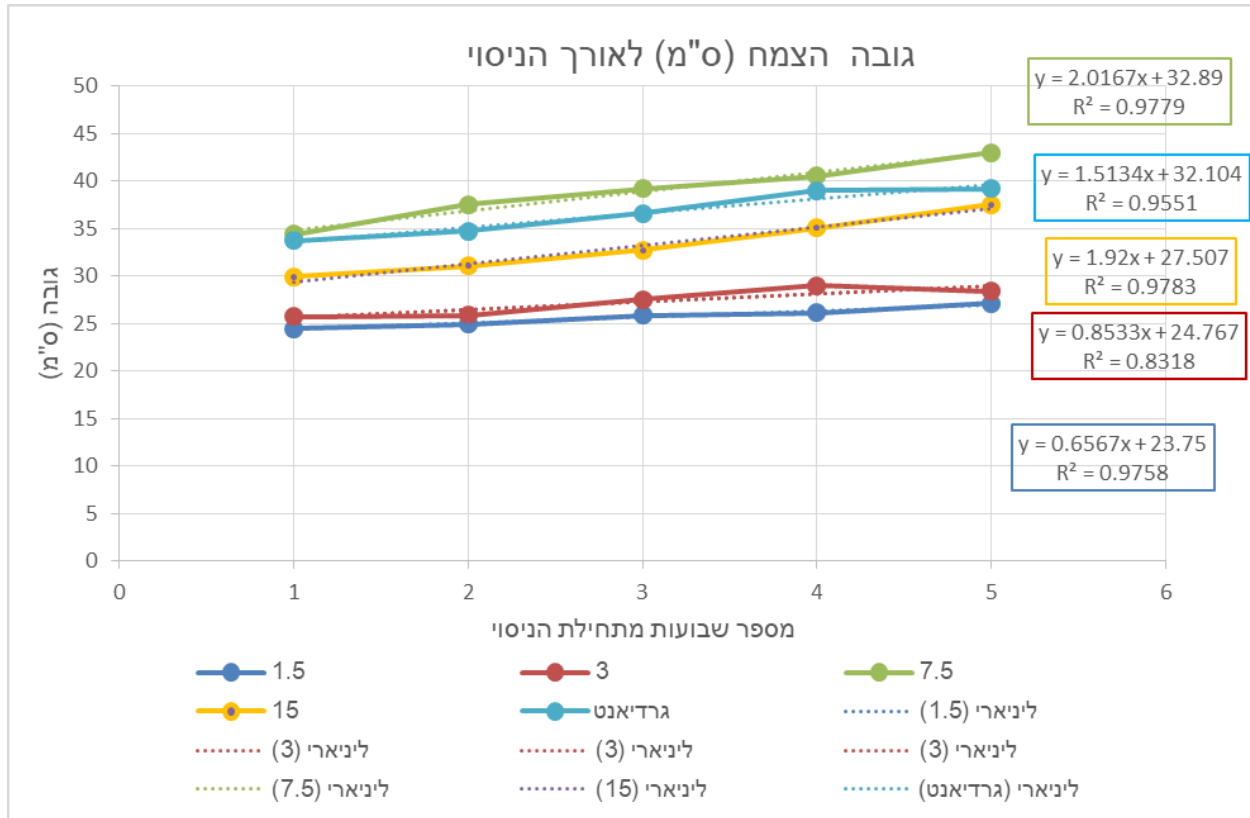


איור 8: הערכות למדידת החנקות והזרחות

3. תוצאות הניסוי

תוצאות הניסוי המנתי

מטרת הניסוי מנתי הייתה לבדוק את רמת המליחות האופטימלית לגידול הסליקורניה, לצורך כך ניתחתי את תוצאות המדידות של גובה הצמח, משקל העציץ ומספר הקטעים (מספר מפרקי הצמח).

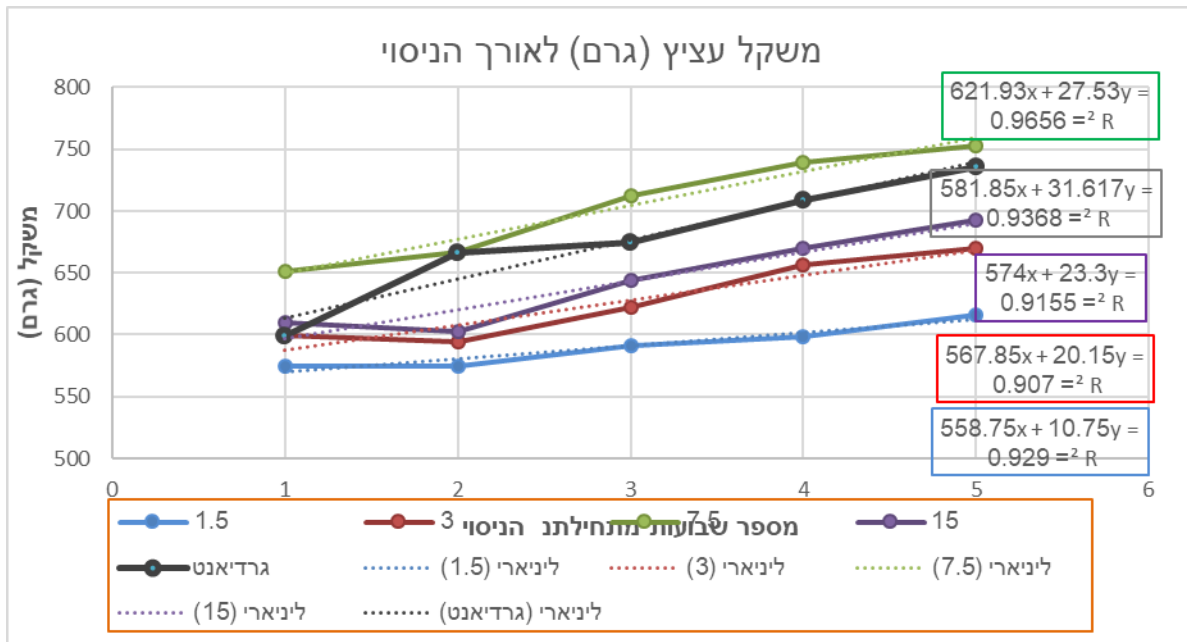


גרף 1: גובה הצמח לאורך הניסוי

המספרים במקרא מציינים את ריכוזי המלח בכל טיפול (גר/ליטר). כל נקודה בגרף מייצגת ממוצע גובה של שלושה צמחי סליקורניה. קווי המגמה מציגים את קצב הגידול לאורך הניסוי

גובה הצמחים ההתחלתי לא היה שווה (ממוצע של 3 צמחים בכל ריכוז), לפיכך, ההשוואה בין הטיפולים התבצעה לפי חישוב שיפוע הגרף המתאר את קצב הגדילה של הצמחים בכל ריכוז מלחים.

מתוצאות המעקב אחר גובה הצמח ניתן לראות כי שיפוע מדידות גובה צמחי סליקורניה שגדלו בריכוז של 7.5 גרם לליטר מלח, גבהו בצורה המשמעותית ביותר ולאחר מכן, בסדר יורד, 3, 15, 1.5 גרם לליטר מלח.



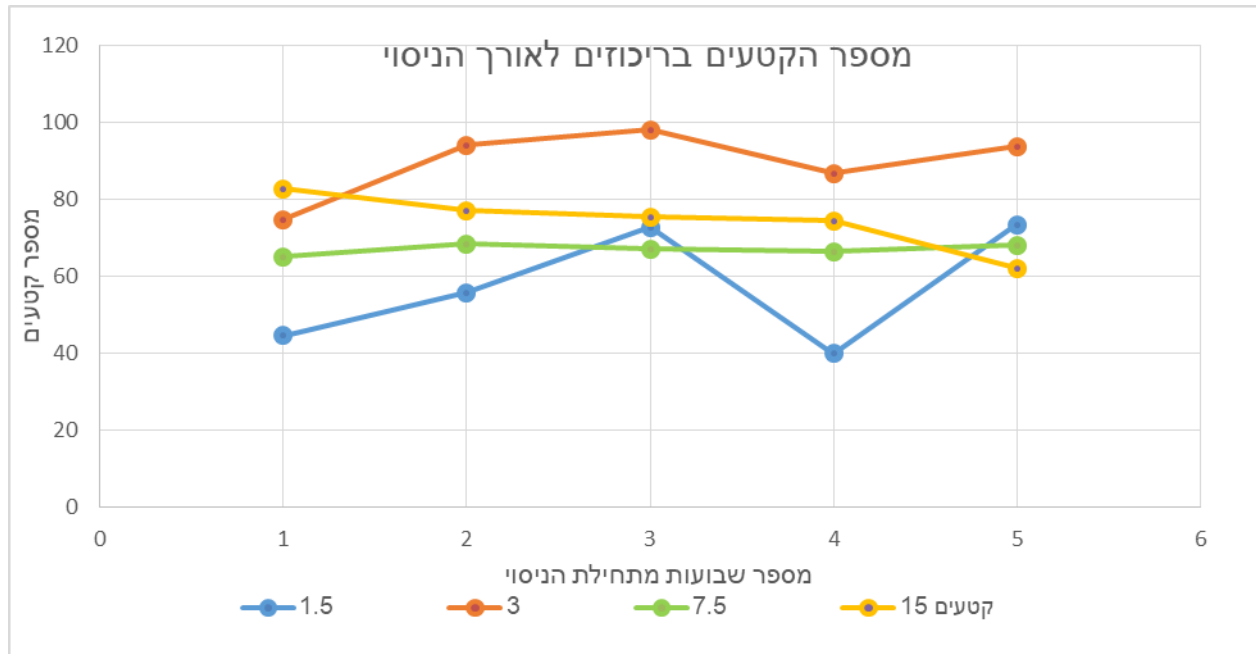
גרף 2: משקל העציץ בשבועות מתחילת הניסוי.

המספרים במקרא מציינים את ריכוזי המלח בכל טיפול (גר/ליטר), הקו השחור המסומן בתווית "גרדיאנט" מייצג את משקל העציץ במערכת הניסוי הרציפה.

גם במדד משקל העציץ, המשקל ההתחלתי של עציצי הסליקורניה לא היה שווה (עציץ אחד בכל מיכל), ההשוואה התבצעה לפי חישוב שיפוע קצב הגדילה של הצמחים בכל ריכוז מלחים.

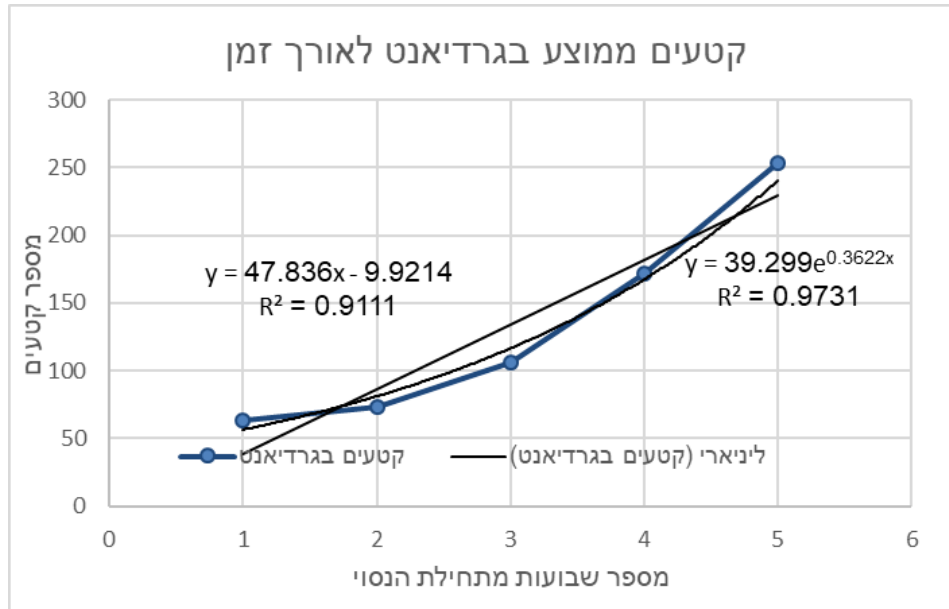
מתוצאות המעקב אחר משקל ניתן לראות כי שיפוע מדידות משקל עציצי הסליקורניה שגדלו בריכוז של 7.5 גרם לליטר מלח, גדלו בצורה המשמעותית ביותר ולאחר מכן, בסדר יורד, 15, 3, ו-1.5 גרם לליטר מלח.

בהשוואה לתוצאות הניסוי במערכת הרציפה בה ריכוז המלח ההתחלתי הוא 1.5 גרם לליטר (כפי שמצאנו בניסוי המקדים לעבודה). שיפוע קצב הגדילה של משקל העציצים במערכת הרציפה הוא גבוה מכל צמחי הסליקורניה אשר גודלו במערכות המנתיות.



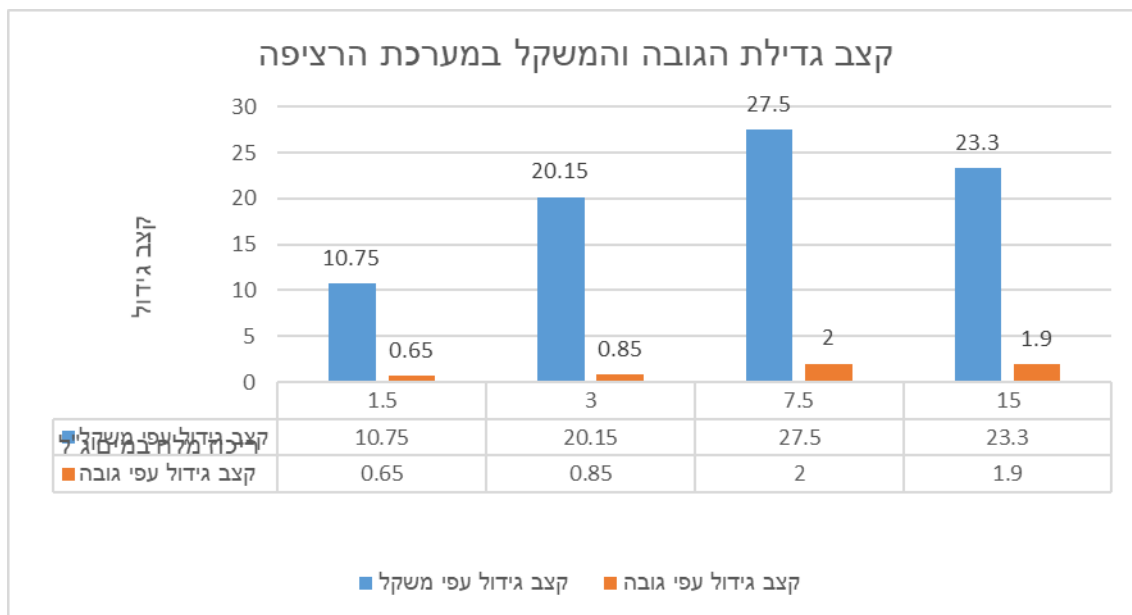
גרף 3: מספר הקטעים בצמח בשבועות מתחילת הניסוי

מספר קטעי הצמחים ההתחלתי לא היה שווה (בממוצע של ענף מייצג מ 3 צמחים בכל ריכוז), ההשוואה התבצעה לפי חישוב שיפוע קצב הגדילה של הצמחים בכל ריכוז מלחים. גרף זה מייצג את כמות הקטעים הממוצעת ל 3 צמחי סליקורניה במערכת המנתית לאורך זמן. בגרף זה אין שיפועים לינאריים, והמספרים רציפים ממדידה למדידה. בריכוז 7.5 ג"ל מלח ובריכוז 15 ג"ל מלח, נמדדה ירידה בכמות קטעי הצמח, נתון שאינו עולה קנה אחד עם תוצאות מדידות הגובה והמשקל.



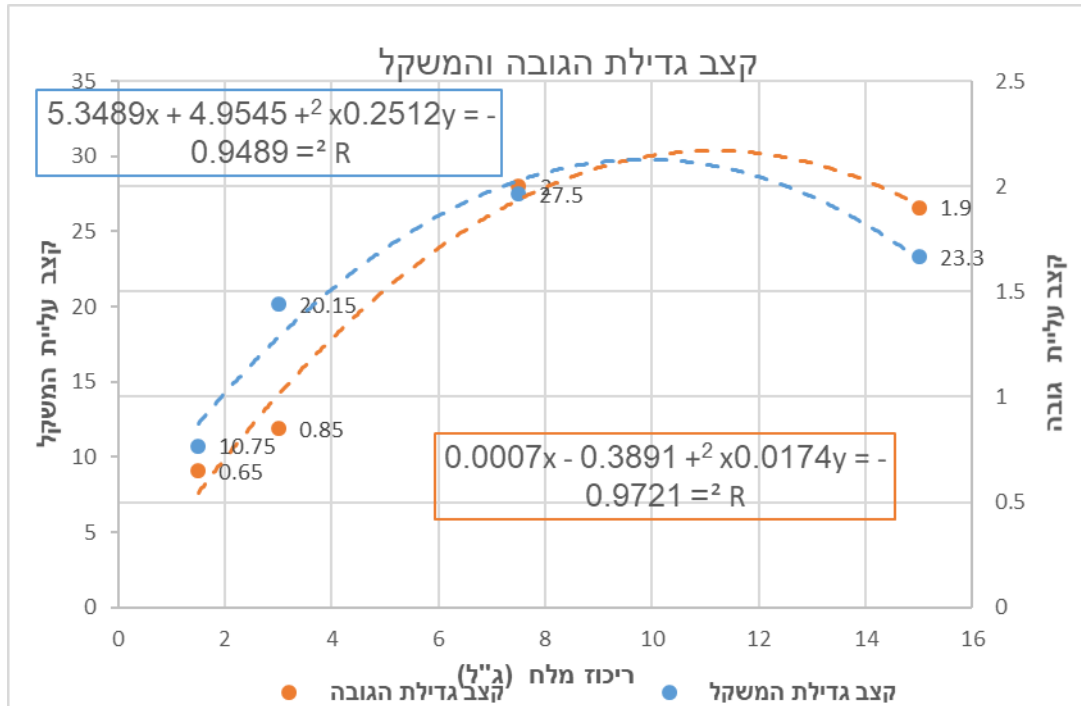
גרף 4 מספר קטעים בגרדיאנט בשבועות מתחילת הניסוי

גרף זה מציג את קצב הבלבול של הסליקורניה במערכת הגידול הרציפה לאורך זמן. שלא כמו בניסוי המנתי, גרף זה הוא גרף מעריכי במידת דיוק יותר גבוהה, המשקף היטב את קצב גדילת הצמחים בפועל. ניתן לראות צמחי הסליקורניה במערכת הגידול הרציפה גדלו בקצב מהיר. גם פה הוספתי את הקו מגמה הליניארי, על מנת להקל על ההשוואות עם מדדי הגדילה האחרים.



גרף 5 : גרף קצב גדילה של גובה ומשקל

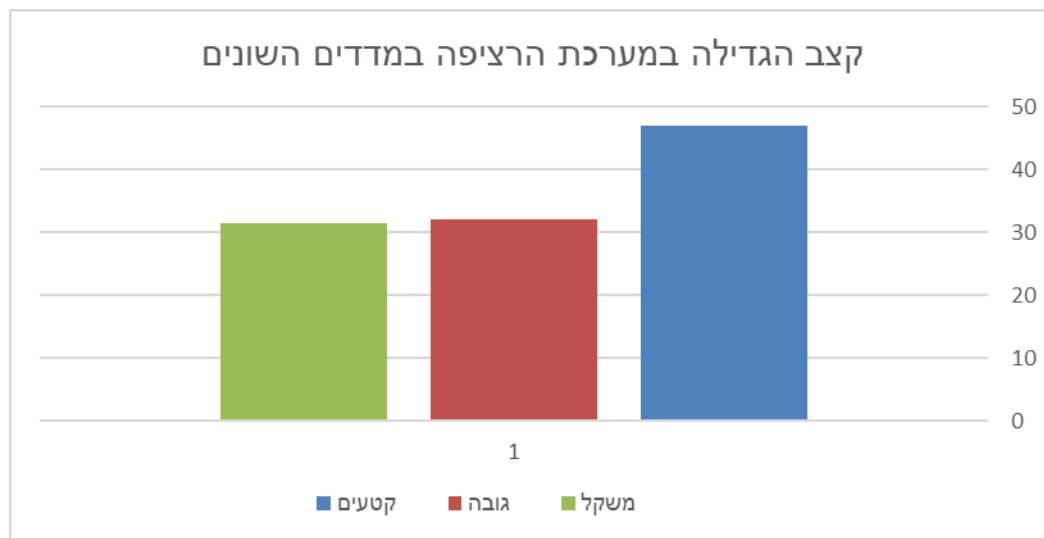
גרף זה הינו השוואה של קצב הגדילה של צמחי הסליקורניה בריכוזי מלח השונים, על פי גובה ומשקל. העמודות בגרף מייצגות את קצב הגדילה – הוא השיפוע של קו המגמה של המשוואה שנוצרה מנתוני הגובה ומשקל הצמחים. ניתן לראות שנוצרת כאן עקומת פעמון, שבקדקודה נמצאים הצמחים שגודלו בריכוז מלח של 7.5 גרם לליטר, הן בממד הגובה והן ממד המשקל.



גרף 6: גרף קצב גדילה של גובה ומשקל

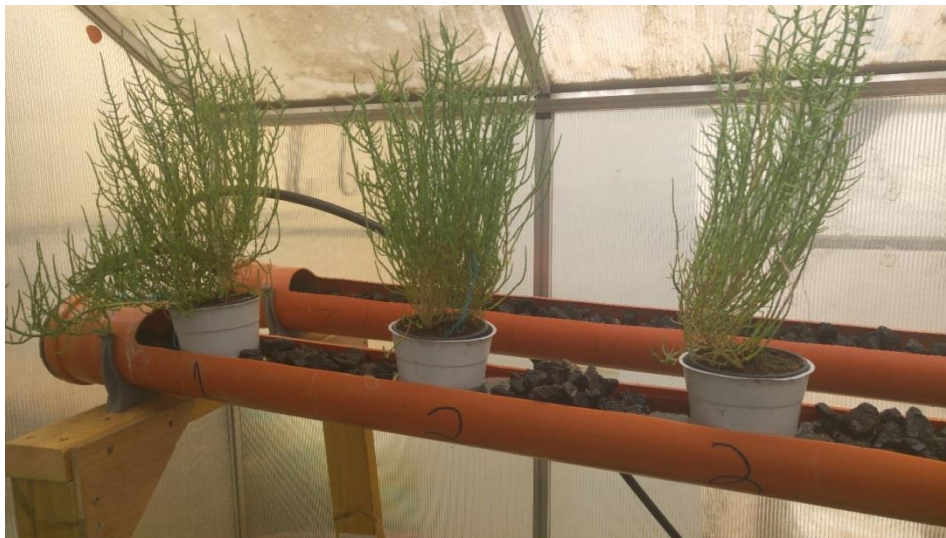
גרף זה מציג את קצב הגדילה של צמחי הסליקורניה כפונקציה של ריכוז המלח בממדים של גובה ומשקל. קצב גדילת הגובה מיוצג בגרף הכתום על הציר הימני, וקצב גדילת המשקל מיוצג בכחול וערכי ה Y שלו הם על הציר השמאלי.

מניתוח הפונקציות עולה כי נקודת המקסימום (הנקודה שבה קצב הגידול היא מקסימלית) של הגובה הינה בריכוז של 11.18 גרם לליטר מלח, והנקודה שבה הגדילה תהיה מקסימלית בגרף המשקל תהיה 9.861 גרם מלח לליטר. ניתן מכך להסיק שהטווח המקסימלי לגידול צמחי סליקורניה על פי ממדי גובה ומשקל הוא בין 9 ל-12 גרם לליטר מלח.



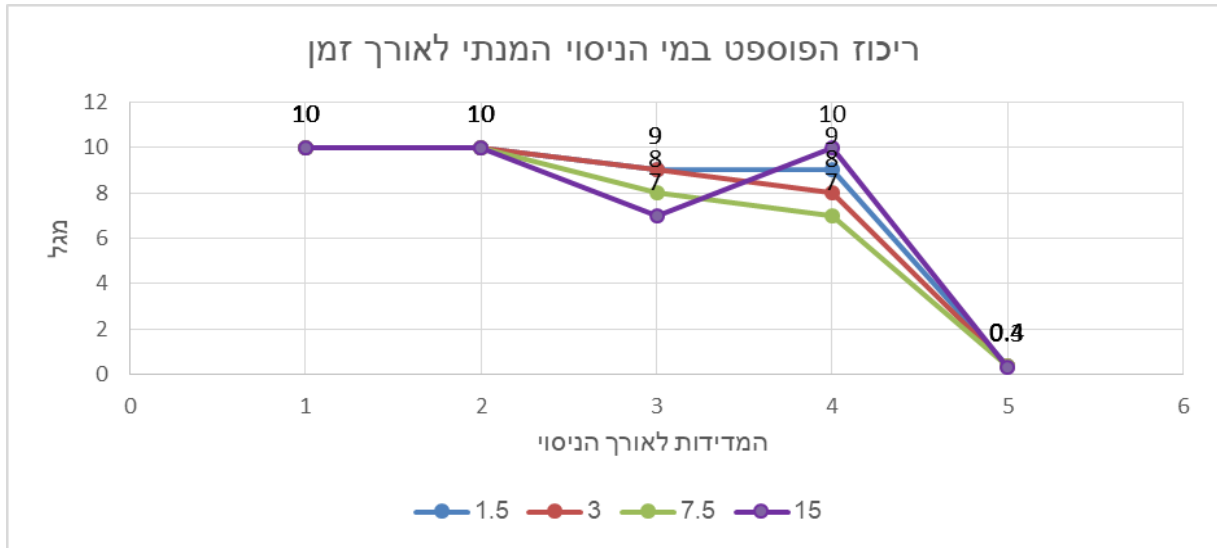
גרף 7: קצב הגדילה בגרדיאנט במדדים השונים

גרף זה הינו השוואה של קצב גידול (שיפוע הקו הליניארי) של הצמחים בניסוי הרציף על פי מדד גידול. ניתן לראות כי מדדי הגובה והמשקל גדלו בקצב דומה, אך מדד הקטעים היה גדול באופן משמעותי. מדד זה משקף את הגידול הדרמטי בנוף הצמח במערכת ההידרופונית הזורמת לעומת המערכת המנתית. זרימה של מים מאפשרת אוורור לשורשים ופיזור אחיד של הנוטריינטים במים ומהווה מערכת בעלת תנאי גידול טובים יותר לצמח.



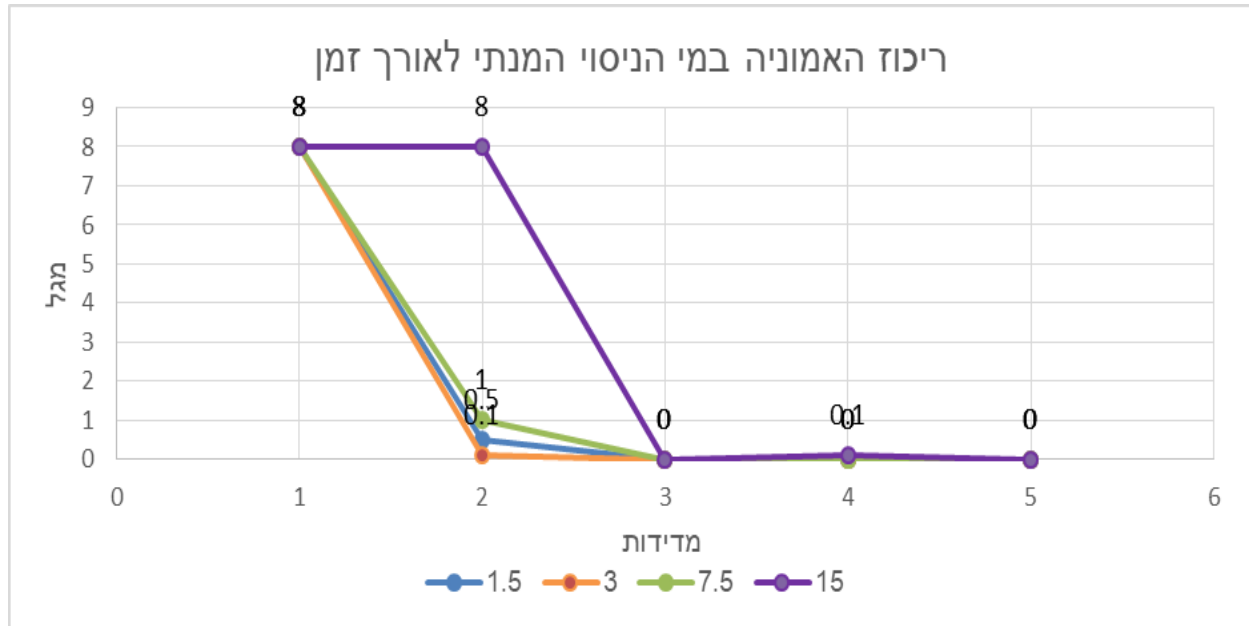
איור 9: הסליקורניה במערכת הרציפה בתחילת הניסוי (למעלה) ובסופו (למטה)

הגרפים הבאים מתארים את השינוי בריכוזי חנקות זרחות במי גידול הסליקורניה בניסוי המנתי.



גרף 8: ריכוז הפוספט במי הניסוי המנתי בשבועות מתחילת הניסוי

מהתבוננות בתוצאות ניתן לראות כי ריכוזי החנקות והזרחן בתחילת הניסוי היו גבוהים מתחום המדידה, לכן הנחנו כי דישון המערכת נעשה בעודף וריכוזי הזרחן והאמוניה היו מעל תחום המדידה הקלרומטרי. אני מניחה שרמת הפוספאט בשלושת השבועות הראשונים של הניסוי ירדה מרמה גבוהה מעל תחום המדידה. עם זאת ניתן לראות כי 40 ימי הניסוי הריכוז הפוספט במים נצרך לגמרי ובמקביל נמדדה גדילה של ביומסה צמחית.



גרף 9: ריכוז האמוניה במי הניסוי המנתי בשבועות מתחילת הניסוי

גם במדידות החנקן מצאנו כי ב 40 ימי הניסוי הצמחים שגודלו בכל רמות המליחות צרכו אמוניה לגדילתם. קצב צריכת האמוניה היה מהיר מקצב צריכת הפוספאט ורמת האמוניה במים ירדה כבר במהלך השבוע הראשון בצמחים שגודלו במליחות 1.5, 3, 7.5 ג"ל מלח.

בצמחי הסליקורניה שגודלו בריכוזי מלח של 15 ג"ל מלח צריכת האמוניה המשמעותית התקיימה רק בשבוע השני, להבנת עקב קשיי איקלום של הצמחים למליחות הגבוהה.

ריכוזי הזרחן והאמוניה שנמדדו במערכת הרציפה היו לאורך כל הניסוי מעל תחום המדידה הקלרומטרי ולא ניתן להסיק מהם מסקנות על איכות מי התמלחת במערכת הרציפה. (גרפים של איכות המים במערכת הרציפה מצורפים בנספח 2 לעבודה).

בנוסף לכך, החל מהשבוע השלישי לניסוי נצפתה פריחת אצות משמעותית בשתי מערכות הגידול הרציפות, דבר השפיע על צריכת נוטריינטים ואינו מאפשר להעיד על השפעת הסליקורניה על איכות המים.

על מנת לאושש את השערתי בדבר דישון יתר בתחילת הניסוי, חישבתי ריכוזי הדשן שהוספנו למערכת הגידול:

הערות	שפר 7-3-7+3	תחום API color card	הנוטריאנט
הוסף מ"ל אחד של דשן שפר לכול ליטר של מי הניסיונות	mg/ml	mg/l	
		0-5	NO ₂
מי ההזנה ההתחלתיים מחוץ לתחום המדידה	186.0	0-160	NO ₃
מי ההזנה ההתחלתיים מחוץ לתחום המדידה	36.0	0-8	NH ₄
מי ההזנה ההתחלתיים מחוץ לתחום המדידה	39.8	0-10	PO ₄

טבלה מספר 3 : תכולת הנוטריינטים במי התמלחת לגידול הסליקורניה וריכוזים בדשן שהוסף

ניתן ראות כי קיים דישון של 1 מ"ג דשן "שפר" לליטר מים הינה רמת דישון גבוהה מעבר לרמה הניתנת למדידה במערכת המדידה הקולורימטרית.

4. תוצאות ומסקנות

4.1 הניסוי המנתי

צמחי סליקורניה הינם הלופיטים בעלי פוטנציאל רב בשוק, הן בשוק הקולינרי, והן בשוק החקלאי. בנוסף, ישנם מחקרים המנסים להוכיח את יעילותם בשוק האנרגיה. צמח זה גדל במים מליחים, ומתוצאות הניסוי לגידול הסליקורניה בעציצים במערכת המנתית אשר מדד את המליחות האופטימלית לגידול סליקורניה, נמצא כי ריכוז של 7.5 גרם ליטר למלח, הוא הריכוז האופטימלי לגידול, על פי ניתוח מדדי הגובה והמשקל. מדד מספר הקטעים לא נכלל בניתוחי הנתונים לניסוי זה משום שהוא לא תאם את תוצאות המדדים האחרים, ולא תאם את נוף הצמחים בשטח. בנוסף, צמח הסליקורניה אוגר את המלח בענפיו התחתונים ואלו מתים לאחר זמן מסוים. חלק מהענפים המייצגים שנבחרו לספירת הקטעים היו בתחתית הצמח, דבר המטיל בספק יותר גדול את אמינות מדד זה.

מניתוח של גרפים 5 ו-6, המייצגים את קצבי השינוי במשקל ובגובה של צמחי הסליקורניה במערכת המנתית, ניתן להסיק כי המליחות שבה ניתן להגיע לקצב הגידול האופטימלי על פי מדדי המשקל והגובה נמצא בין 9 ל 12 גרם מלח לליטר, משום שנקודות המקסימום של הפונקציה לגובה ולמשקל הינם 11.18 ו 9.861 בהתאמה.

4.2 הניסוי הרציף

בניסוי הרציף קצב גדילת הסליקורניה ומדדי הגובה והמשקל הסופיים אליהם הגיעו הצמחים, גבוהים במידה משמעותית ביחס לניסוי המנתי. בניסוי הרציף, זרימת המים אפשרה להגעה של חמצן טרי לשורשי הצמחים ומנעה הצטברות של ריכוזי מלח ונוטריינטים גבוהים בין חללי הטון שאופייניים לגידול בהצפה. מאפייני גידול אלו תרמו לגדילת הצמח. בנוסף לצמחים היה יותר מקום פיזי להתפתחות וגדילה. בתצפית הוויזואלית נצפתה גדילה נפחית של הנוף שלא השתקפה בצורה ברורה בקצב גידול המסה משום שהיחס בין מסת הבלבוב הצעיר למסת המערכת (עציץ, אדמה, צמח, מים) קטנה מאוד. מדידת המשקל מתאימה יותר לניסויים ארוכי טווח, בין השאר כי זה קובע כדאיות כלכלית.

ההבדלים בין הניסוי הרציף והמנתי נבעו מכך שהתנאים בניסוי רציף היו יותר טובים. בסליקורניה שגודלה במערכת הרציפה נמדדה גדילה משמעותית בכל המדדים, הגובה, המשקל, וגם במספר הקטעים (מדד לבלבוב חדש של הצמח). מדד מספר קטעים הראה קפיצת גדילה משמעותית בצמחים שגדלו במערכת הרציפה, וגדילה זו השתקפה בשטח, בכך שהצמחים הוסיפו נוף משמעותי.

בהשוואה בין המערכת הניסוי הזורמת עם הסליקורניה והמערכת הזורמת בלי הסליקורניה, לא נמדד הבדל משמעותי ברמת הנוטריינטים במים עקב עודף דישון בהקמת המערכת. בשתי המערכות החלה פריחת אצות במים במהלך השבוע השלישי של הניסוי, ובנוסף, יש סיכוי לצמיחת חיידקים אנארוביים ניטריפיקנטים בין חללי הטוף במערכת.

מדידת לבלבוב (מספר קטעים) נמצאה לא-אמינה בניסוי המנתי בניגוד לניסוי הרציף. יכול להיות שהפער באמינות נובע מכך שבניסוי הרציף, הייתה קבוצת מדגם גדולה יותר (8 צמחים, ביחס ל 3 צמחים בערכת

המנתית). טווח המספרים שהתקבל מספירת הקטעים של המערכת הרציפה נעה בין 88 ו- 714 קטעים במדידה האחרונה, לעומת המדידה המנתית, שנעה בין 62 ל 93 קטעים בממוצע בריכוזים השונים.

מבחינת תוצאות ריכוזי הניטריינים במי התמלחת, כדאי לאשש ולחדד את ממצאי ניסוי זה עם ניסוי נוסף, שיבדוק את ריכוזי המים ואולי אף ינסה ריכוזי מים נוספים, על מנת לבדוק את גבולות הסיבולת של הסליקורניה, על מנת לתת מידע לחקלאים פוטנציאליים, ולהתאים את ציוד מדידת החנקות והזרחן לתחומי הריכוזים במערכות הניסוי.

בבחינה של שתי שיטות גידול, מערכת הידרופונית מנתית ומערכת הידרופונית זורמת, במערכת הזורמת נצפה קצב גידול גבוה יותר, תפוקת ביומסה גדולה יותר מאשר במערכת המנתית, כנראה כתוצאה מתנאי גידול יותר טובים, ערבול מים, הזרמת חמצן לשורשים, נפח מים גדול יותר במערכת, נוטריאנטים מספיקים, ומקום לגדול.

5. המלצות

למחקרי המשך העוסקים בגידול הסליקורניה במים מליחים אני ממליצה לבדוק את יעילות הצמח כביופילטר ביצוע מחקר מפורט בגידול סליקורניה בריכוז מלח של 9-12 גרם מלח לליטר על מנת למצוא את הריכוז האופטימלי המדויק, וניסוי שימדוד את הטווח האופטימלי לגידול סליקורניה כצמח תבלין (שטעמו יהיה מלוח במידה הרצויה).

ניסוי למציאת שיטת הגידול האופטימלית ע"י השוואה בין מערכות גידול שונות. לדוגמא: מערכת בסחרור, ומערכות הידרופוניות אחרות.

ביצוע ניסוי גידול סליקורניה על מים של מתקן טיפול בשפכים, המכילים כימיקלים נוספים. לניסוי זה ערך מעשי כיון שלסליקורניה יש פוטנציאל רב בתור צרכן נוטריינטים, והוא יכול להיקצר ולהימכר תמורת רווח.

מומלץ לשלב בניסויים עתידיים את חישוב קצב האידוי של הסליקורניה. עצם אידוי מי השפכים יכול להוות פתרון טכנולוגי לשימוש בתימלחות. בנוסף, עליית ריכוז המלחים והנוטריינטים עקב האידוי עלולה לפגוע בסליקורניה, ולכן צריך לשים לב לכך.

מומלץ לבצע ניסוי המשלב קציר של הביומסה במהלך הניסוי על מנת לבדוק את ההתכנות החקלאית של הפתרון.

המלצות למהלך המחקר:

מדדי גובה הצמח ומשקלו אמינים ומומלצים יותר מספירת עלים כיוון שהסליקורניה מאוגרת מלח בענפיה הנמוכים והם מתים מהר.

במערכת הצפה, מומלץ לבדוק את רמת החמצן באזור השורשים על מנת לוודא שהצמח סופח את החמצן הנדרש (במערכת רציפה לא קיימת בעיה כזאת). בנוסף, במערכת כזאת מומלץ לדגום את המים בכמה מקומות במיכל כיון שנוצרים כיסים של הצטברות של מלח ונוטריינטים במיכל.

6. תודות

תודה ע-נ-ק-י-ת לתמר ביאר ולאיתמר אבישי מהחווה החקלאית החממה בעין שמר ולנתן שטאל המנהל לשעבר של המתקן לטיפול בשפכי תעשייה במפעלי נייר חדרה שהנחו אותי בביצוע העבודה ובכתיבתה.

תודה לנועם גבע מנהל החממה, לגל דישון המנהל המדעי, לנעם ברעם ולצוות החממה שעזרו בכל, מבניית המערכת ועד הכתיבה.

תודה למכבי קרסו שתמך בביצוע המחקר וברכישת הציוד הנדרש.

תודה לאולפנה ולמיכל כנרתי, שאפשרה את ביצוע המחקר בחממה.

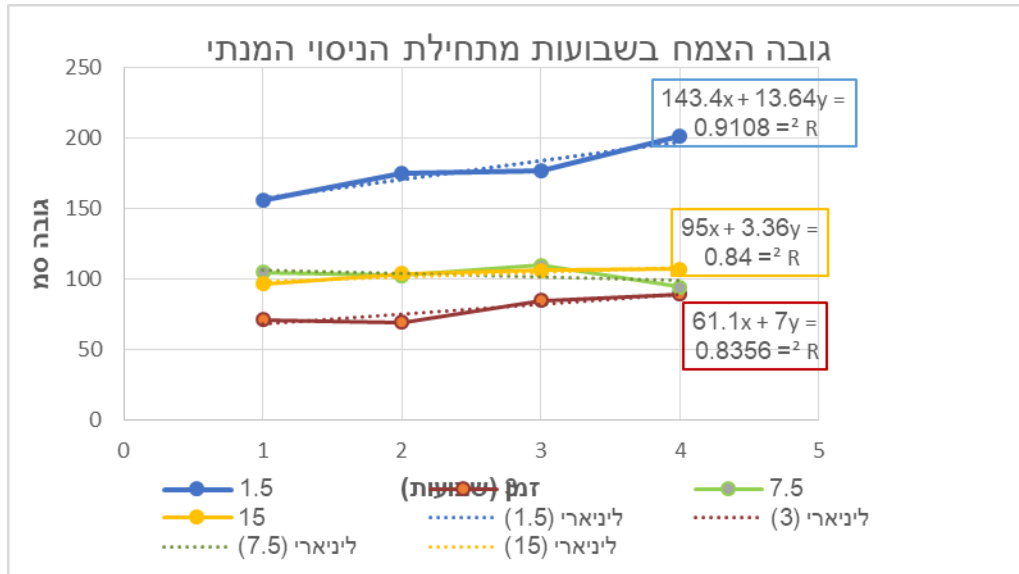
7. ביבליוגרפיה

1. המים בכדור הארץ. Retrieved February 08, 2017, from <http://www.water.gov.il/Hebrew/Water-Environment/Pages/The-Water-in-the-Earth.aspx>
2. Siegel, S. M. (2015). Let there be water: Israel's solution for a water-starved world. New York: Thomas Dunne Books/ St. Martin's Press.
3. רשות המים. (n.d). גשמים בישראל. Retrieved December 12, 2017, from <http://www.water.gov.il/Hebrew/Water-Environment/Pages/Rainfall-in-Israel.aspx>
4. משקעים ואזורי אקלים בישראל. Retrieved December 12, 2017, from <http://lib.cet.ac.il/pages/item.asp?item=9591>
5. טרשצ'יסקי, י., ענבר, י., & שמואלי, ל. (n.d). השלכות סביבתיות של עומסי יסודות הזנה ופסולות בקרקעות חקלאיות בישראל (Rep. No. 145-4-1). המשרד להגנת הסביבה <http://www.sviva.gov.il/infoservices/reservoirinfo/doclib4/r0401-r0500/r0437.pdf>
6. אגן הכינרת. Retrieved December 11, 2017, from <http://www.water.gov.il/Hebrew/WaterResources/Kinneret-Basin/Pages/default.aspx>
7. התפלת מי ים בישראל. Retrieved February 08, 2017, from <http://www.water.gov.il/Hebrew/WaterResources/Desalination/water-desalination-in-Israel/Pages/default.aspx>
8. וויס ע, ינון י. וסיבוגי ג. (2005). פתרונות סביבתיים לטיפול וסילוק מי רכז מהתפלה. דו"ח המשרד לאיכות הסביבה. 4-054.
9. מי תהום - אקוויפרים - המשרד להגנת הסביבה. Retrieved February 14, 2017, from <http://www.sviva.gov.il/subjectsEnv/WaterStreams/Resources/Pages/Aquifer.aspx>
10. קפלן מ. אידלמן א. וכהן ג. (2009) אינדיקטורים לפיצוח בר קיימא בישראל חלק ב" דו"ח הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה והמשרד להגנת הסביבה.
11. רשות המים. (n.d). אגן החוף. Retrieved December 12, 2017, from http://www.water.gov.il/Hebrew/WaterResources/Coastal_aquifer/Pages/default.aspx
12. טיוב בארות. (n.d). Retrieved December 11, 2017, from <http://www.water.gov.il/Hebrew/Planning-and-Development/Pages/Tube-wells.aspx>
13. Treatment Proaqua. (n.d). התפלת מים. Retrieved December 12, 2017, from <https://www.treatment.co.il/%D7%94%D7%AA%D7%A4%D7%9C%D7%AA%D7%9E%D7%99%D7%9D.html>
14. American Membrane Technology Association. (n.d). American Membrane Technology Associations (AMTA). Retrieved December 12, 2017, from <https://www.amtaorg.com/electrodialysis-reversal-desalination>
15. NatureTech. (October 13, 2017). איזו שיטת גידול הידרו מתאימה לך? יתרונות, חסרונות והמלצות. Retrieved January 26, 2018, from <http://naturetech.co.il/hydroponics/>

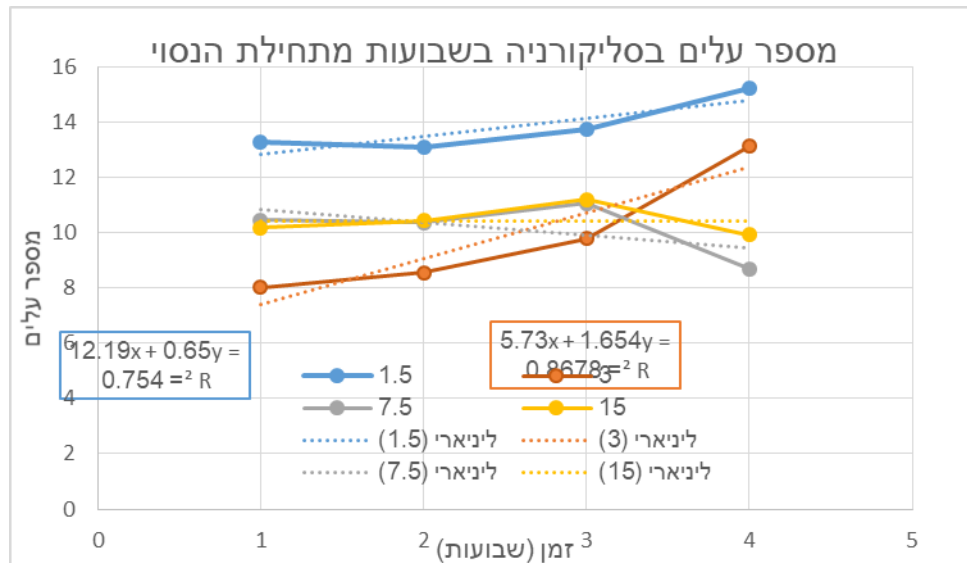
16. לבנה (n.d.). פרקן עשבוני, Retrieved December 11, 2017, from <http://www.wildflowers.co.il/hebrew/plant.asp?ID=1571>
17. Gunning, D. (2016, August). Cultivating *Salicornia Europaea* [Scholarly project]. In Cultivating Marsh samphire. Retrieved December 11, 2017, from <http://www.bim.ie/media/bim/content/news,and,events/BIM,Cultivating,,Salicornia,europaea,-,Marsh,Samphire.pdf>
18. *Salicornia europaea* L. Retrieved December 12, 2017, – צמחיית ישראל ברשת. (n.d). פרקן עשבוני – /from <http://flora.org.il/plants/SALEUR>
19. Patel, S. (2016). *Salicornia*: evaluating the halophytic extremophile as a food and a pharmaceutical candidate. 3 *Biotech*, 6(1), 104. <http://doi.org/10.1007/s13205-016-0418-6>
20. Shpigel, M., Ben-Ezra, D., Shauli, L., Sagi, M., Ventura, Y., Samocha, T., & Lee, J. J. (2013). Constructed wetland with *Salicornia* as a biofilter for mariculture effluents. *Aquaculture*, 412, 52-63.
21. Ayre, J. (2017, October 31). Masdar Institute's SEAS Facility Harvests First Crop Of *Salicornia* For Aircraft Biofuel. Retrieved December 11, 2017, from <https://cleantechnica.com/2017/10/31/masdar-institutes-seas-facility-harvests-first-crop-salicornia-aircraft-biofuel>

8. נספחים:

8.1 תוצאות הניסוי המקדים:

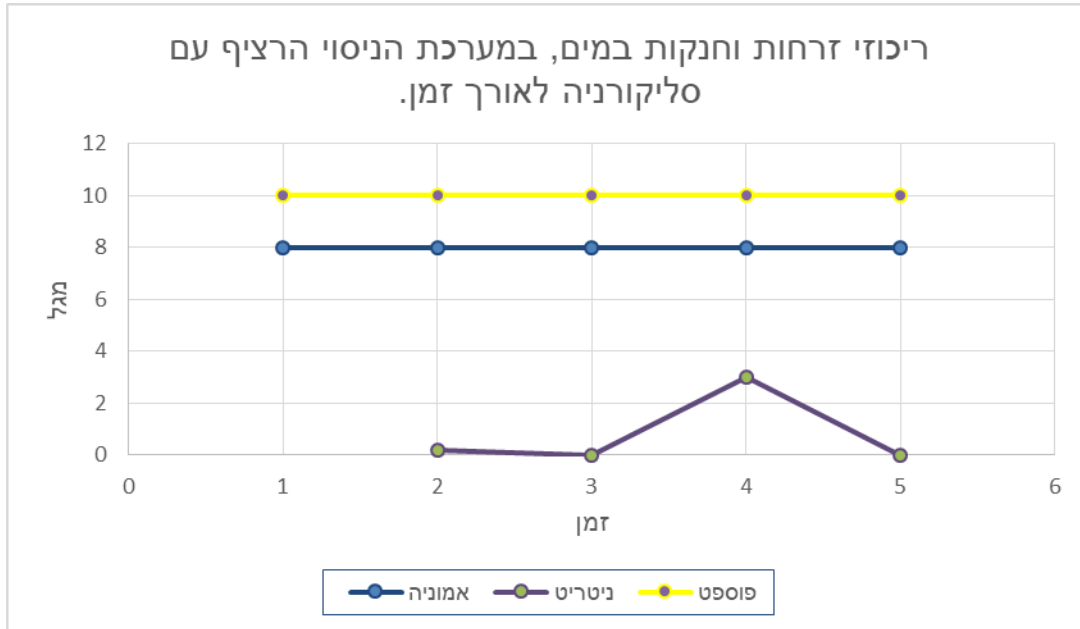


גובה בצמח בשבועות מתחילת הניסוי המקדים. המספרים מציינים את ריכוז המלח בכל טיפול (גר/ליטר). כל נקודה בגרף מייצגת ממוצע גובה של שלושה צמחי סליקורניה. קווי המגמה מציגים את קצב הגידול לאורך הניסוי, חוץ מלריכוז 7.5 שבו קו המגמה לא היה ליניארי, ולכן משוואתו לא רשומה. בריכוז 1.5 הייתה העלייה הגדולה ביותר

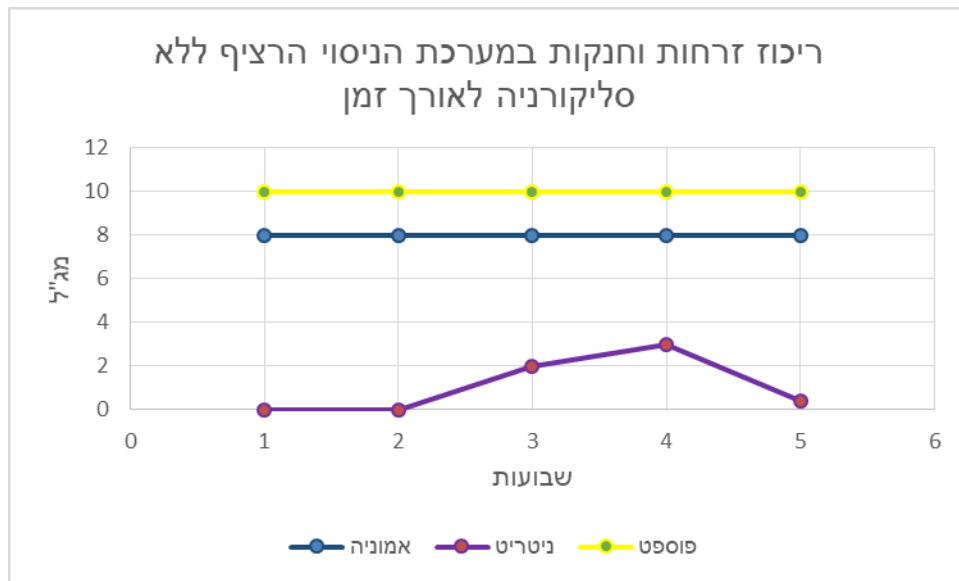


מספר עלים בסליקורניה בשבועות מתחילת הניסוי המקדים.

8.2 תוצאות מדידות איכות מים במערכת הרציפה –



תכולת נוטריינטים מים בניסוי הרציף עם סליקורניה



תכולת נוטריינטים במים בניסוי המנתי