

1.1 צמחי מים ייעודיים לגינון אקולוגי של בריכות נוי ומערכות אגן-ירוק להרחבת

סל מוצרי חומר ריבוי ליצוא

Development of ornamental bolbous pond plants with phytoremediation potential for commercial production of propagation material

מוגש לקרן המדען הראשי במשרד החקלאות

1.2

**שמות החוקרים :**

[iris@volcani.agri.gov.il](mailto:iris@volcani.agri.gov.il)

[telor@agri.huji.ac.il](mailto:telor@agri.huji.ac.il)

[kerem@agri.huji.ac.il](mailto:kerem@agri.huji.ac.il)

[giluria@shaham.moag.gov.il](mailto:giluria@shaham.moag.gov.il)

[hamama@mevoot-eron.org](mailto:hamama@mevoot-eron.org)

איריס ידידה-מינהל המחקר החקלאי  
אלישע תל-אור הפקולטה לחקלאות, האוני' העברית, רחובות  
זהר כרם הפקולטה לחקלאות, האוני' העברית, רחובות  
גדעון לוריא-שה"מ משרד החקלאות  
אביטל גבע, חממה לימודית, ביי"ס מבואות עירון

**1.3 תקציר :**

איפיון וגידול צמחי מים בעלי ערך קישוטי לגינון בריכות נוי ובתי גידול לחים, המאופיינים בין השאר על ידי פוטנציאל לשמש במערכות טיהור אקולוגיות. התמקדנו בצמחים המסוגלים לנצל מים מושבים ליצירת איבר ריבוי וגטטיבי (גיאופיט) המיועד לשינוע בתובלה ימית. הנישה השיווקית המיועדת כוללת בריכות נוי, בריכות שחייה אקולוגיות, מערכות טיהור מים אפורים, ומערכות אגן-ירוק.

מטרת המחקר : פיתוח קבוצת גידולים מתאימה ליצירת נישה שיווקית חדשה ליצרני חומר הריבוי הישראליים. גידול בשימוש במים אפורים בארץ מרחיב את התפתחות הנישה השיווקית גם לשוק מקומי.

שיטות המחקר : 1. אקלום של 6 מינים ובסה"כ 15 מינים וזנים של צמחי מים מזדקרים לבדיקה בתנאי הארץ, לימוד משתנים הקשורים בפיסולוגיה של הגידול (טמפרטורות, מחזור עונתי, מועדי פריחה ומקדמי ריבוי). 2. לימוד הפוטנציאל של הצמחים הנבדקים לגדול בנוכחות מים בדרגות זיהום שונות בעין שמר ובכפרי הנוער אשל הנשיא ויוהנה ז'בוטינסקי.

תוצאות עיקריות : 6 מינים ומספר זנים של צמחי מים עברו אקלום ונמצאו מתאימים למים אפורים ולטיהור מים קולחין. קיימים הבדלים ביכולות טיהור המים של צמחים שונים, אך אלה אינם מצדיקים שימוש בצמח סוים ונראה כי שילוב של מספר צמחי נוי הוא המיטבי להשגת טיהור יעיל. צמחים מומלצים להמשך פיתוח למטרות גינון אגנים ירוקים הינם כנת מים היברידיים, איריס לואיזיאנה, ובת קאלה אתיופית. ע"ס מגעים עם קניינים פוטנציאליים בארה"ב הובהר כי לצורך פיתוח ענף יצוא יהיה יתרון גדול לניקוי חומר הריבוי מוירוסים ומחלות. לפיכך הפיתוח דורש השקעה נוספת ולא בהכרח מובטחת בייצור פרוטוקול תרבית רקמה והקמת מטעי אם לצמחים המומלצים. בנוסף, מצע בזלת נמצא יעיל יותר להתפתחות מרבית מיני הצמחים, במיוחד בשלבי האקלום המוקדמים. נערך כיוול לסטנדרטים של ההורמונים האסטרוגנים אסטרוין ואסטרדיול והאנטיביוטיקה ציפרולקסין במים לצורך המשך העבודה.

הממצאים הכתובים בד"ח זה אינם בגדר המלצות גידול

חתימת החוקר :

## 1.5 תוכן עניינים:

1	שם מחקר	1.1
1	שמות החוקרים	1.2
1	תקציר מדעי של תוכנית המחקר	1.4
2	תוכן העניינים	1.5
2	מבוא	1.6
3	מטרות המחקר	1.7
5	מערך מחקר ותוצאות	1.8
6	דיון	1.9
10	בבליוגרפיה	2.0

## 1.6 מבוא

מצבו הנוכחי של ענף הפרחים מחייב חשיבה יצירתית ופתוח נישות גידול שונות מאלה הקיימות היום. ההצעה הנוכחית עוסקת בפיתוח קבוצת גידולים המיועדת לשווקים חדשים; צמחי מים לייצור חומר ריבוי המיועד לגינון אקולוגי (ירוק).

פיתוח צמחי מים בעלי ערך קישוטי מצטרף למגמה עולמית של שימוש בטכנולוגיות ירוקות לפתרון בעיות אקולוגיות. חומר הריבוי הצמחי כולל חלקי שורש מעובים, קנה שורש ופקעות ולכן מיועד לשיווק בתובלה ימית. עליית מחירי התשומות ניתנת לפתרון לפחות בחלקה ע"י שימוש במים המכילים ערכים גבוהים של חנקן וזרחן שינוצלו ע"י הצמחים. על סמך הערכת השוק ובדיקה עם העוסקים בתחום, מסתמן כי יש מקום להתרחבות הענף תוך חיפוש גידולים מתאימים לשינוע ימי והוספת גידולים חדשים לסל. מדינת ישראל נתפסת כמובילה בעולם בתחום טכנולוגיות השקיה ומחזור מים. ניתן לנצל את המומנטום גם לפיתוח חקלאי של צמחי מים המיועדים לגינון אקולוגי בין השאר במערכות ליטוש מים.

צמחי מים מהווים חלק מכלל התהליכים הביזויים המתרחשים בגופי מים ומגבירים את יכולתם של גופי מים לשמש כפילטרים ביולוגיים לניקוי המים מגורמי זיהום (2, 10). הצמח מעודד באמצעות הפרשות שורש, שינוי pH, ואספקת חמצן את האוכלוסיה המיקרוביאלית ומספק שטח פנים וסביבה תומכת לקיומם של חיידקים המבצעים את עיקר תהליכי הפירוק והרחקת המזהמים מהמים (10, 4). על פי הספרות מסתמן כי קיים מתאם בין צמחים מסוימים ליעילות טיהור של מזהמים, למרות שאין עבודות רבות המסבירות את המנגנונים האחראים ליכולת זו (2).

הרעיון להשתמש בצמחים בעלי ערך קישוטי לטיהור מי קולחין באגנים ירוקים באזורים כפריים, נסקר במספר עבודות וכמות הפרסומים העוסקת בצמחי נוי ויכולתם להוות חלק מאגנים ירוקים הולכת וגדלה (6, 7, 15-17, 1, 14, 16). המחקרים מעידים על הפוטנציאל של צמחים בעלי ערך קישוטי כמו מיני איריס לואיזיאנה, כנה אינדיקה, כנת מים ובת קאלה אתיופית להשתלב במערכות קיימות או עתידיות של טיהור וליטוש מים ברחבי העולם. ניצול מים שוליים לייצור גידולים בעלי ערך מסחרי לפני הגיעם למי התהום עשוי גם לתרום לסביבה בעיקר לאור העלייה במודעות לבעייתיות השימוש במי קולחין למבנה הקרקע ולמי התהום (11, 12).

**צמחים:** נבחנים המינים הבאים - בת-קאלה ננסית בעלת תכונות אנטיאלגליות (*Zantedeschia*) (3). המין בוציץ סוככני (*Buatomus umbelattus*) (5). מין זה נדיר בצמחיית ארץ ישראל והיה מצוי בעבר ברמת הגולן ובמספר אזורים ביצתיים בשפלת החוף. הצמח מראה סבילות גבוהה למתכות כבדות (8). המין כנת מים היברידית (*Canna glauca*) ממשפחת ה-Cannaceae הכוללת צמחים

מתאימים לשמש במערכות טיהור (9). המין פונטדריה איזמלנית (*Pontederia lanceolata*) שייך למשפחה Pontederiaceae הכוללת כ- 9 סוגים של צמחי מים אשר נמצאו בעבודות רבות כפילטרים ביולוגיים יעילים. המין *Thalia dealbata* ממשפחת ה-Marantacea. מין זה נמצא יעיל ביותר בעמידותו למהמים במים ובהתאמתו לגידול במי שפכים. עמידותו היחסית לבורון מקנה לו ייתרון ייחודי (13). קבוצת האיריסים - *Iris spp.* ביניהם *I. louisiana* מתרבה מחלוקת קנה שורש, מתאים לגידול הן במים בגובה נמוך והן בקרקע כבדה בתנאי הצפה. מיני האיריס השונים ובמיוחד איריס ענף נמצאו מתאימים גם למערכות טיהור מים אולם במספר מדינות הוא מוגדר כפולשני (14).

**1.7 מטרות המחקר:** 1. אקלום 15 צמחי מים לבדיקה בתנאי הארץ, ולימוד משתנים הקשורים בפיסולוגיה של הגידול (טמפרטורות, מחזור עונתי, מועדי פריחה וריבוי). 2. לימוד הפוטנציאל של הצמחים הנבדקים לגדול בנוכחות מים בדרגות שונות של עומס חנקן ועומס אורגני ובתנאי חשיפה למהמים. 3. שימוש בטכניקות אנאליטיות (HRMS ו-HPLC-UV) לסריקת איכויות טיהור ייחודית כמו כושר פירוק הורמונים אסטרוגניים והאנטיביוטיקה Ciprofloxacin.

### 1.8 מערך המחקר:

**תמונה 1.** מערכת הדולבים. בתמונה נראים הדולבים, בכל טור טיפול באיכות מים שונה, ובכל שורה מין שונה של צמח בנוסף לשורה נוספת ללא שתילה – ביקורת, בחזית התמונה.



מערך הניסויי הקים ופיתח תשתיות בכפרי נוער החקלאיים של מינהל החינוך ההתיישבותי. יוצגו תוצאות עבור המינים: כנת מים (הבריד) (*Canna glauca*); עבקנה מגוון (*Arundo-donax variegata*); ובוציץ סוככני (*Butomus umbellatus*). המין האחרון מצוי בסכנת הכחדה בישראל.

בכפר הנוער אשל הנשיא הוקמה מערכת גידול המדמה אגן ירוק בשולחנות מים ובדולבים (תמונה 1, 2); נבדקה השפעת מי פלט מסוגים שונים (מי כביסה, מי מדיח כלים, מי פלט חקלאיים בהשוואה לביקורת – מי רשת (מותפלים) + דישון) על התפתחות צמחי המים. בכפר הנוער יוהנה ז'בוטינסקי הוקמה תשתית מחקרית ונבדקו

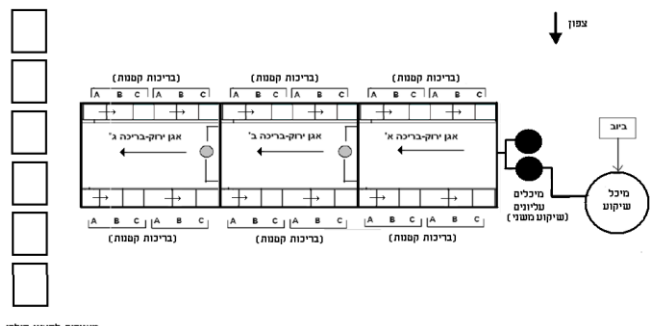
משתנים פיסולוגיים של הצמחים, בתנאי גידול במי קולחין מטוהרים באגן ירוק; המרחק ממקור אספקת מי ביוב באגן הירוק, לאחר טיפול השקעה ראשוני (1-6, 12-7 ו-13-18 מ') (מצעים בזלת, טוף ודולומיט). בחממה הלימודית בעין-שמר הוקמה תשתית שולחנות מים, נבחנה ההשפעה של הארכת יום (שעתיים ו-4 שעות בהשוואה לביקורת), סוג מצע (בזלת, טוף פרלייט משולבים עם כבול), עומק שתילה (2 ו-10 ס"מ), ורמת דישון (דישון הידרופוני שפר), על משתנים פיסולוגיים בגידול הצמחים כנת מים ובוציץ סוככני. רמת הדישון נבחנה בשלוש רמות מוליכות מ-1.5ms/cm ועד



**תמונה 2.** שולחנות המים באשל הנשיא. בתמונה ארבעה שולחנות; בכל שולחן איכות מים ממקור שונה וארבעה מיני גיאופיטים, 24 פרטים מכל מין.

6ms/cm (עומס נוטריינטים גבוה). מדדי הצימוח והריבוי שנבדקו: גובה הנוף, מס' נצרים, אורך נצרים כולל, שטח עלה גדול, עובי גבעול, גובה תפרחת, מספר פרחים, ריכוז כלורופיל, פעילות אנזימי עקה (טירוזינז, פראוקסידאז), משקל טרי ויבש של הצמח השלם, הנוף והשורש, מספר פיצולים ומקדמי ריבוי. במקביל נבחנו מדדי איכות מים: pH, חנקות (ניטריט, ניטרט ואמוניה), חימצון, מליחות, מוליכות ועכירות. התשתית הניסויית באשל הנשיא כוללת שתי מערכות, מערכת דולבים (תמונה 1) והשנייה מערכת שולחנות מים (תמונה 2). הוצבו 20 דולבים (400 ל'), בסידור של ארבעה טורים ו-5 שורות. כל שורה מוזנת במקור מים שונה וכל טור שתול במין שונה- 14 צמחים לדולב בנוסף לטור ביקורת, בו לא נשתלו צמחים. מערך שולחנות המים כלל 4 בריכות שולחן (600 אורך X 110 רוחב X 40 ס"מ עומק), לכל שולחן זרמו מים ממקור שונה ובכל שולחן נשתלו 24 פרטים מכל אחד מארבעת מיני הצמחים. מערך הניסוי באשל הנשיא מאפשר לבחון את השפעת האגן הירוק על איכות המים, את עמידות הצמחים לסוגי מים שונים ואת תרומתם היחסית לתהליך טיהור המים.

תשתית הניסוי ביוהנה ז'בוטינסקי נבנתה בהתאם למגבלות של אתר בית הספר, והיא כוללת אגן ירוק בשטח של כ- 100 מ"ר (תמונה 3), ומערכות נפרדות של פחים שחורים 80 ל', או דולבים. האגן הירוק ניזון ממי הקולחין של הכפר, לאחר שיקוע ראשוני. לאורכו של האגן בנויות 3 בריכות מרכזיות במרחקים שונים ממקור אספקת המים. בשולי הבריכות, נבנו לצורך הניסוי בריכות צדדיות, הניזונות ממי האגן, מהבריכות המרכזיות. נבנו 36 בריכות בטון, 18 בצד צפון, 18 בצד דרום, 12 בריכות לצד כל אחת מהבריכות המרכזיות. 6 בצד הדרומי ו- 6 בצד הצפוני (תמונה 3). מערך הדליים כולל 36 דליים, 12 לכל סוג מצע, 4 לכל אחד משלושה מיני צמחים שונים, 3 פרטים בכל דלי. מערך הדולבים כולל 6 מיכלים בנפח של מ"ק כל אחד. התשתית הניסויית ביוהנה ז'בוטינסקי, מאפשרת ללמוד את השפעת האגן הירוק על איכות המים, ואת התרומה של המצעים השונים לאיכות המים ולריבוי וצימוח צמחי המים.



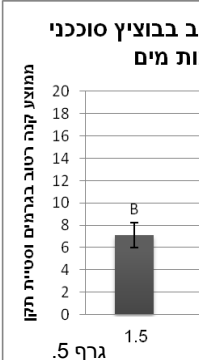
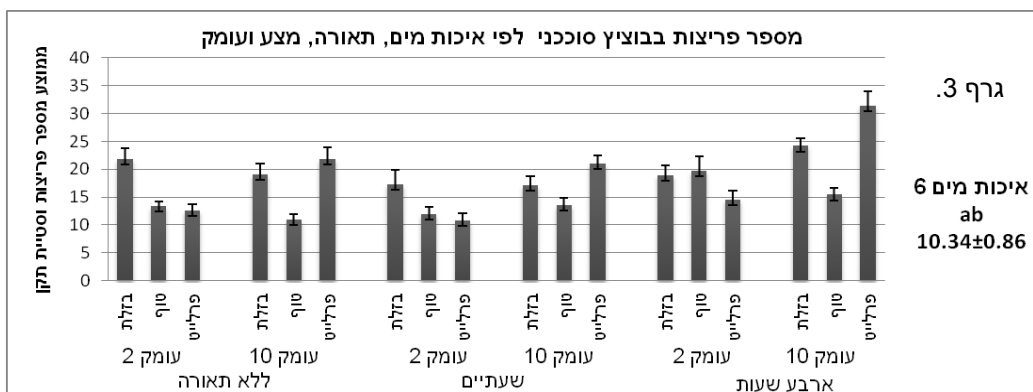
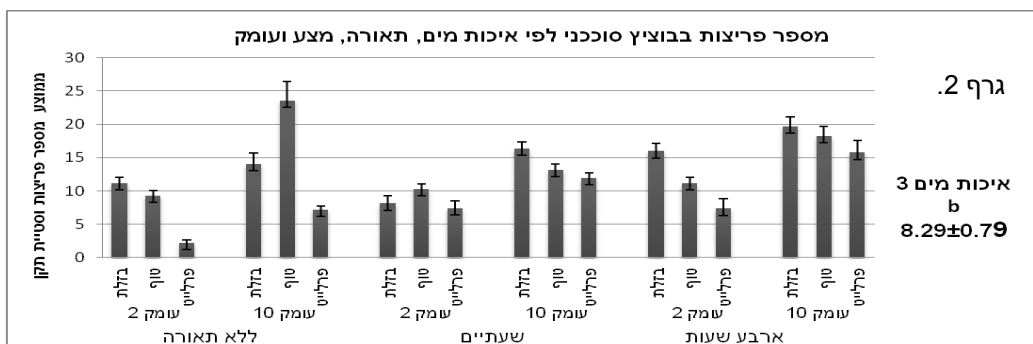
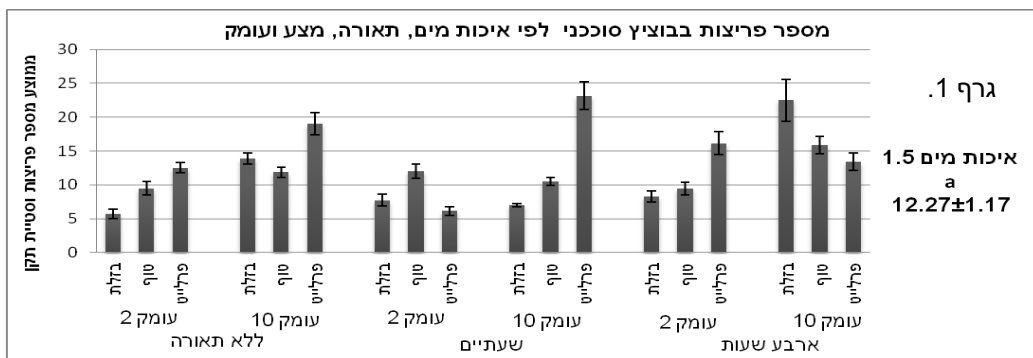
**תמונה 3.** סכמה של האגן הירוק בכפר הנוער יוהנה ז'בוטינסקי הכולל שלוש בריכות טיהור ומיכל שיקוע (למעלה מימין); וצילום שלו (למעלה משמאל); מערך גידול (בת-קאלה) בעציצים בצידי האגן הירוק (למטה).

תשתית הניסוי בעין שמר כוללת מערך מרזבים, בכל מרזב זורמת תמיסת השקיה בסחרור (500 ל'). העציצים (8 ל') מונחים על גבי המרזבים וניזונים מהתמיסה הזורמת בתחתית העציץ. מבנה הניסוי שנערך השנה בעין-שמר התבצע בבלוקים, כל בלוק התאפיין ברמת דישון שונה, ובו שלושה תתי-בלוקים, שכל אחד מהם התאפיין בהארכת יום שונה. כל טיפול הארכת יום התבצע על שלושה סוגי מצע, וכל מצע נבדק בשני עומקי קרקע. כל שילוב משתנים נבדק על שני מינים כנת מים ובוצץ סוככני.

**תוצאות עיקריות**

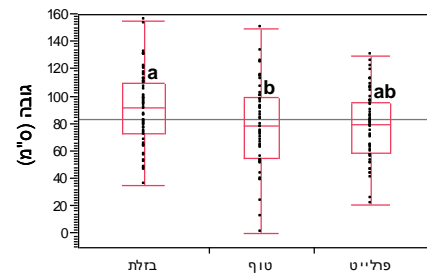
השפעת איכות המים, התאורה ועומק השתילה על מספר הפריצות בבוציץ סוככני ובכנת מים בחממת עין שמר: נערך ניתוח של ההבדלים במספר פריצות כפונקציה של איכות המים, רמת התאורה ועומק השתילה. ניתוח התוצאות היה מורכב מבחינה סטטיסטית בשל האילוף לעבוד במערכת רב-גורמית. השפעת איכות המים על מספר הפריצות בבוציץ סוככני נמצאה מובהקת. ממוצע הפריצות היה גבוה במובהק ברמת הדישון הנמוכה 1.5 בהשוואה לרמה הגבוהה 3, אך לא שונה מרמת הדישון הקיצונית שהגיע למוליכות 6, תוצאה שקשה להסבירה (גרפים 1-3). בנייתוח הביומסה הכללית בסיום הניסוי נצפתה מובהקות חיובית לרמת הדישון הגבוהה 6 על פני הרמות 3 ו-1.5. תוצאה שניתן להסבירה בתגובה חיובית של הצמח לכמות הנוטרינטים הגבוהה ברמת דישון זו (גרף 5 - 4). עוד נצפה יתרון במספר הפריצות לעומק שתילה של 10 ס"מ על עומק שתילה נמוך של 2 ס"מ.

בוציץ סוככני:

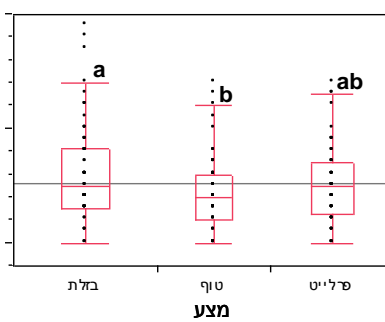
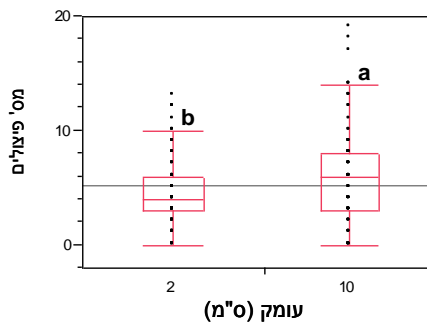
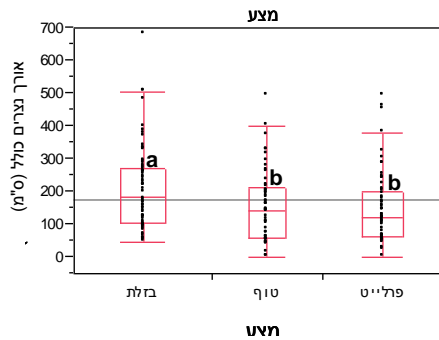


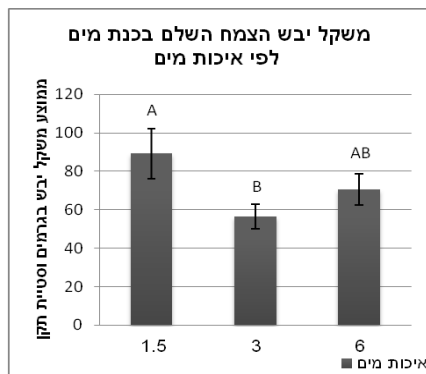
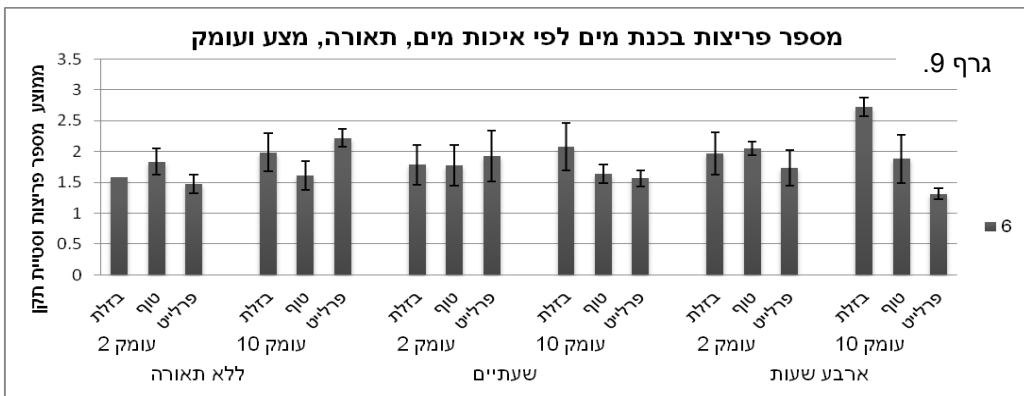
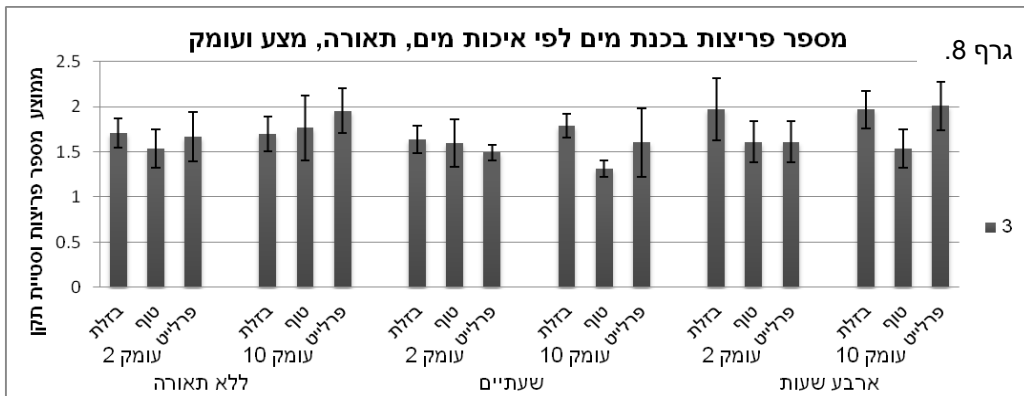
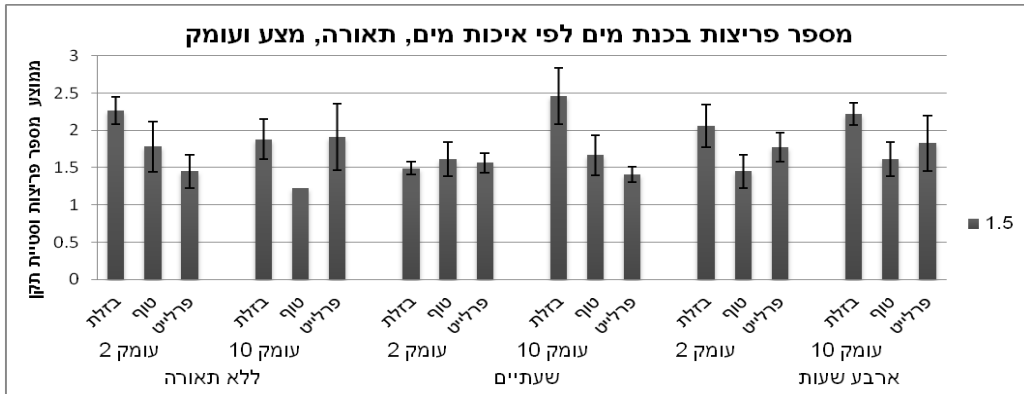
**כנת מים:** ניתוח התוצאות עבור מספר הפריצות בכנת המים, הראה מובהקות למצע הבזלת ולעומק שתילה של 10 ס"מ לעומת 2 ס"מ. העובדה שלא נצפתה ירידה במספר הפריצות ביחס לעלייה בריכוז הנוטריינטים ומוליכות המים מצביעה סבילות של הכנה למוליכות גבוהה ולריכוז גבוה של נוטריינטים ולכן על התאמה של הצמח למערכות טיהור. בממוצע המשקל היבש והרטוב של הצמח נצפה יתרון קל לרמת דישון נמוכה (גרף 10-11).

סוג המצע השפיע במובהק על גובה הנוף כפי שנמדד במדידה האחרונה (טבלה 1, איור 6). ממוצע גובה הנוף במצע הבזלת היה 91 ס"מ, גבוה במובהק בהשוואה למצע טוף (79 ס"מ). נמצא כי לסוג המצע השפעה מובהקת על אורך הנצרים הכולל לצמח. ממוצע אורך הנצרים הכולל לצמח במצע הבזלת היה 179 ס"מ, גבוה במובהק בהשוואה לשני המצעים האחרים.

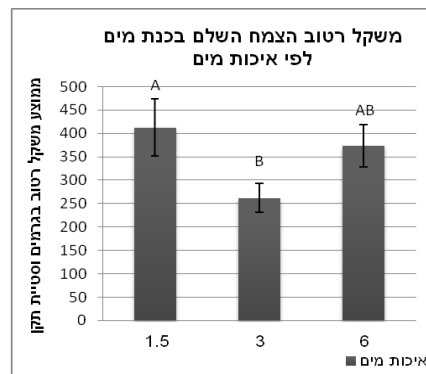


**גרף 6.** השפעת סוג המצע על גובה הנוף (למעלה). לבחינת השפעת סוג המצע על אורך חוטרים כולל. (אמצע). השפעת סוג המצע ועומק השתילה על מספר ההתפצלויות לצמח (למטה). השוואת ממוצעים (Tukey, 5%)  
 $n = 64$  צמחים במצע בזלת, 51 צמחים במצע טוף ו-56 צמחים במצע פל"יט.



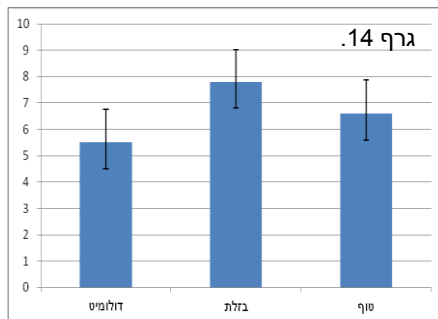
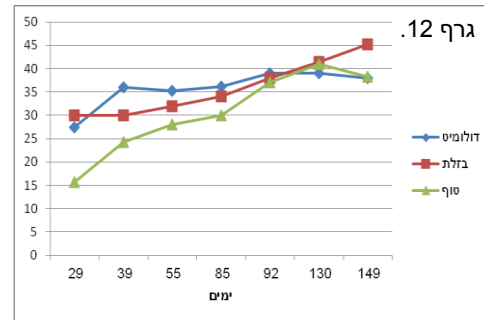
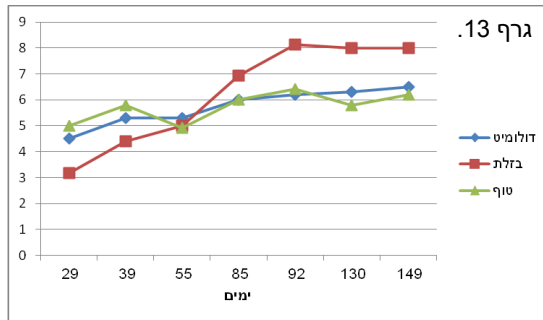


גרף 11.



גרף 10.

**השפעת סוג המצע על גידול כנת מים:** השפעת סוג המצע על גידול כנה נבדקה בתנאי שטח פתוח בכפר הנוער יוהנה ז'בוטינסקי. ניתן לראות כי מצע בזלת הוא המתאים ביותר לגידול כנת מים והשפיע בצורה חיובית על רוחב העלה, גובה הצמחים (גרף 12-13) וצבירת ביומסה. מצע הבזלת השפיע חיובית ובצורה מובהקת גם על מספר יחידות הריבוי שנוצרו לצמח בהשוואה לדולומיט אך לא לטוף (גרף 14).



מספר יחידות הריבוי הממוצע במצע הבזלת התקרב ל- 8 יח' לצמח בעונת הסתיו/חורף, נתון המצביע על פוטנציאל של הצמח לשמש לריבוי בתנאי הארץ (גרף 14). כל טיפול כולל ממוצע מ-12 צמחים ב-4 חזרות.

**שימוש בבת קלה אתיופית להרחקת מדדי זיהום מהמים:** יעילות ההרחקה של מדדי זיהום שונים במי קולחין ע"י בת קאלה אתיופית נבחנה במערכת דולבים בהשוואה לביקורת ללא צמחים. נבחנו המשתנים הבאים: מוצקים מרחפים (TSS), אמונים, ניטראט, ניטריט, דרישת חמצן כימית (COD), חמצן מומס (DO), חומציות, פוטנציאל חימצון, זרחן ( $PO_4^{3-}$ ), כלוריד ( $Cl^-$ ). בכל מיכל (110X60X70) נשתלו 24 צמחים במרחקים של כ-15 ס"מ. המיכלים הכילו תערובת חצץ דולומיט רחוף: כבול ביחס 8:2 בהתאמה ובעומק כ-40 ס"מ. רמת המים נשמרה כ-5 ס"מ מתחת לגובה המצע נפח המים היה כ-250 ל'. בניסוי שימשו 4 מיכלים שתולים ו-2 מיכלי בקורת, צמחי המקור נרכשו מעופרה צמחי מים ועברו ריבוי בכפר הנוער יוהנה ז'בוטינסקי. חומר הריבוי שנשתל היה יחסית אחיד בגודלו (קוטר 5-8 ס"מ) בשלב הנצת עלים. הצמחים גודלו במים בתוספת דשן לפני הוספת מי הקולחין למשך 60 יום. הדיגום התבצע בחודשים אוקטובר – נובמבר. במהלך חודשים אלה התבצעה הזרמה של מי קולחין פעם בחמישה ימים ובמהלכם המים עברו סחרור בתוך המערכת. ערכי הזיהום נמדדו בכניסה וביציאה ממערכת האגן הירוק וכן במיכלי הניסוי. הצמחים גדלו היטב במערכת, והגיעו בתחילת הניסוי לגובה של כחצי מטר עם שורשים מפותחים. הצמחים התמודדו היטב עם ריכוז הנוטרינטים במים, פתחו מערכת שורשים מרשימה והם מתאימים ללא ספק למטרות גינון באגן הירוק. הפחתת צריכת החמצן הכימית ע"י המערכת השתולה לא נבדלה סטטיסטית ( $p \leq 0.05$ ) מהביקורת. הפחתת אמונים וניטראט הראתה יתרון למערכת השתולה בבת קאלה ובמקרה של אמונים הייתה מובהקת ביחס למערכת הבלתי שתולה. ניתן להסביר זאת בכך שהצמחים מגבירים את תהליכי החמצון בסביבת השורש ומעלים את רמת הניטריפיקציה בצורה משמעותית. לעומת זאת התהליכים האנאירוביים הנדרשים לחיזור ניטראט אינם



בהכרח נתמכים ע"י הסביבה הצמחית. לגבי הזרחן ניכר היתרון למערכת השתולה על זו שאינה שתולה. יתר המשתנים לא הצביעו על הבדל משמעותי בין המערכת השתולה בקאלה לבין מערכת שאינה שתולה.

פרמטר	כניסה לאגן	יציאה מהאגן
מוליכות EC (ms/cm)	1.56	1.75
pH	7.05	7.5
(mg/l) $\text{NH}_4^+$	26.3	1.8
(mg/l) $\text{NO}_3^-$	8.8	4.9
(mg/l) $(\text{PO}_4^{3-})$	14.5	1.42
(mg/l) $\text{Cl}^-$	254.4	313.4
(mg/l) BOD	85	18.5
(mg/l) COD	150.7	9.3
(mg/l) TSS	79.8	4.7
NTU (עכירות)	61.2	2.1
קוליפורמים (coliforms/100 mL)	$1.78 \times 10^7$	$3.2 \times 10^5$
E. coli (E. coli/100 mL)	$2.42 \times 10^6$	1301

פרמטר	כניסה למערכת	יציאה מהמערכת בקורת לא שתולה	יציאה מהמערכת בת קאלה
חמצן מומס DO	$1.5 \pm 0.2$	$3.3 \pm 0.3$	$3.5 \pm 0.1$
pH	$7.02 \pm 0.1$	$7.5 \pm 0.2$	$7.2 \pm 0.1$
(mg/l) $\text{NH}_4^+$	$26.5 \pm 7.1$	$14.5 \pm 6.1$	$10.1 \pm 3.4$
(mg/l) $\text{NO}_3^-$	$8.5 \pm 1.3$	$6.1 \pm 1.8$	$5.7 \pm 2.1$
(mg/l) $(\text{PO}_4^{3-})$	$14.5 \pm 4.2$	$6.6 \pm 1.2$	$3.5 \pm 0.4$
(mg/l) $\text{Cl}^-$	$254 \pm 16.5$	$226 \pm 12.4$	$245 \pm 10.6$
(mg/l) COD	$159 \pm 6.7$	$8.5 \pm 1.3$	$6.4 \pm 0.8$
(mg/l) BOD	$95 \pm 15.4$	$15.4 \pm 3.1$	$6.6 \pm 1.2$
(mg/l) TSS	$80.3 \pm 2.2$	$6.5 \pm 0.5$	$4.5 \pm 0.4$
NTU (עכירות)	$60.4 \pm 2.5$	$5.3 \pm 0.8$	$6.1 \pm 0.6$
קוליפורמים (coliforms/100 ml)	$2.0 \times 10^7$	$3.1 \times 10^5$	$2.8 \times 10^5$
E. coli (E. coli/100 ml)	$2.4 \times 10^6$	$1.2 \times 10^3$	930

**השוואה בין בת קאלה אתיופית, כנת מים ופונטדריה איזמלנית ביעילות הרחקת מזהמים ממערכת מעבדתית של אגן ירוק:**

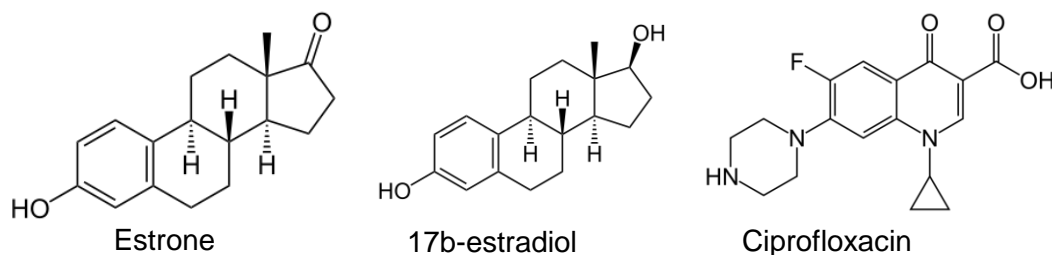
ההשוואה נערכה במערך דולבים שהוזן במים בעלי עומס אורגני בינוני (מי מטבח) לאחר שהיה של 7 ימים במיכלי שיקוע. זמן שהיה בכל דולב היה 7 ימים, המים סוחררו ע"י משאבות כל זמן שהיה. הנתונים מוצגים בצורה השוואתית באחוזי הפחתת זיהום ממי המקור פרט לנתוני החמצן המומס וה-pH. כל טיפול כלל שני דולבים, 16 צמחים בכל דולב.

פרמטר	<i>Pontederia lanceolata</i> % reduction	<i>Zantedeschia aethiopica</i> % reduction	<i>Canna glauca</i> (yellow hybrid) % reduction
(mg/l) $\text{NH}_4^+$	64.6	72.8	69.1
(mg/l) $\text{NO}_3^-$	67.8	81.2	81
(mg/l) $(\text{PO}_4^{3-})$	66.2	79.3	75.3
(mg/l) COD	72.4	84.6	76.5
(mg/l) BOD	67.0	78.7	76.6
(mg/l) TSS	99.90	99.94	99.95
קוליפורמים (coliforms/100 ml)	99.6	99.96	99.98
E. coli	99.35	99.92	99.96

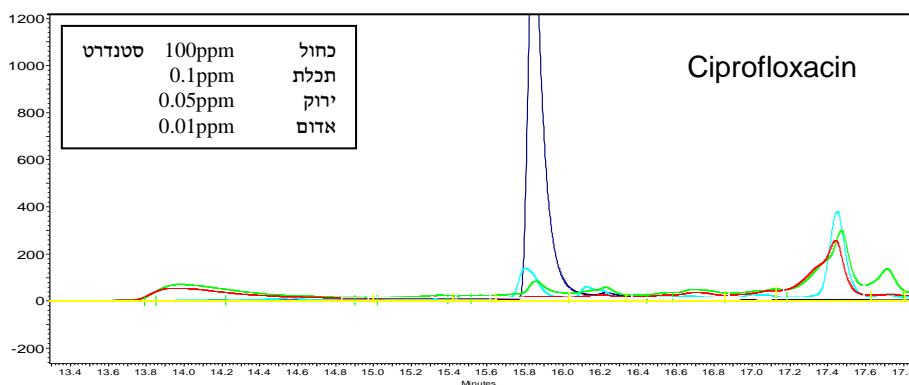
			(E. coli/100 ml)
5.2	6.0	5.2	חמצן מומס DO mg/l
7.5	7.4	7.6	pH

התוצאות הראו נתוני הפחתת זיהום טובים עבור שלושת הצמחים ובתנאי הניסוי (חממה) הם נמצאו מתאימים לשמש כצמחי נוי באגנים ירוקים. הפונטדריה הציגה רגישות גבוהה לכנימות עלה ואקריות במיוחד בחורף, בהשוואה לשני הצמחים האחרים שהראו עמידות בתנאי הניסוי. כושר הפחתת החומרים המזהמים במים של כנת מים ושל בת קאלה אתיפית גבוה ועמידותם של צמחים אלה לתנאי האגן הירוק גבוהה יותר משל הפונטדריה. הרחקת הניטראטים נמצאה יעילה באופן יחסי להרחקת האמוניה וקשורה בין השאר לתנאי החמצון הטובים במערכת המסוחררת, המאפשרים ניטריפיקציה יעילה.

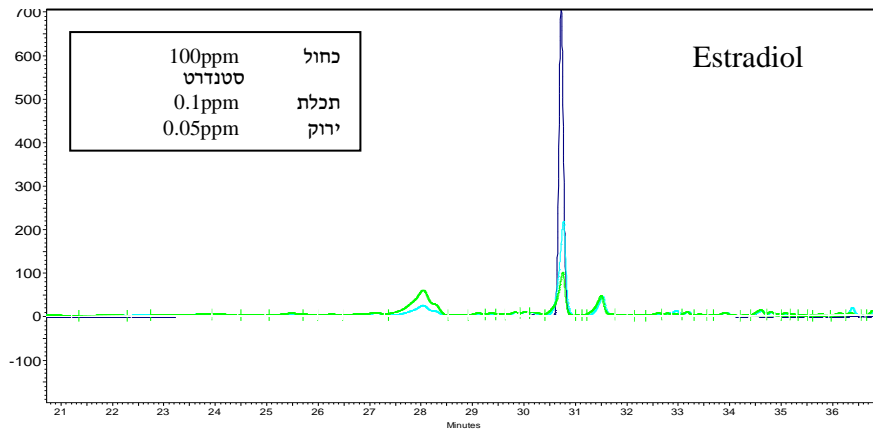
**כיוול מערכת לבחינת השפעת צמחים ייחודיים על הרחקת האנטיביוטיקה ציפרופלקסין וההורמונים אסטרוני ואסטרדיול:**



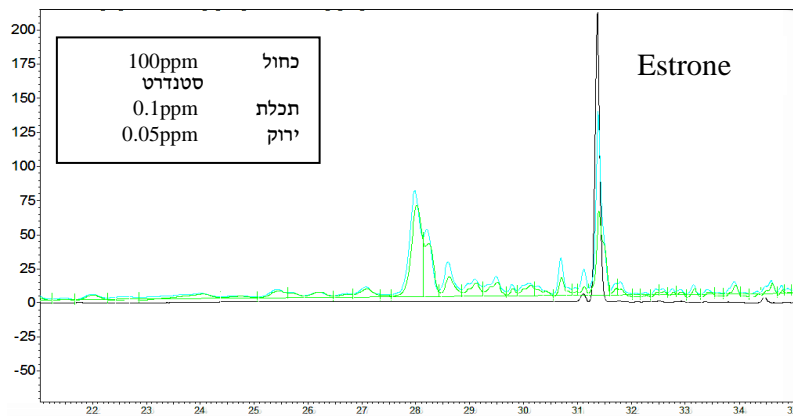
טיהור מים באמצעות אגנים ירוקים נמצא יעיל בהרחקת גורמים מזהמים ממקור אנתרופוגני. ידוע כי החיידקים מעורבים במידה רבה בתהליך הפירוק של תרכובות אלה, אך לא ידוע האם יש משמעות לצמחים בתהליך והאם צמחים מסוימים משפיעים יותר מאחרים. המערכת אותה הקמנו בכפר הנוער אשל הנשיא מאפשרת לענות על שאלות אלה. לשם כך, היה עלינו לכייל באמצעות סטנדרטים מערכת המאפשרת לנו לראות את התרכובות האלה במים ולכמת אותן. פותח פרוטוקול מיצוי והרצה עבור שלושת התרכובות במערכת HPLC-UV. בהמשך מובאות כרומטוגרמות ההרצה של 3 התרכובות בשלושה ריכוזים. בהמשך המחקר יוספו התרכובות בכמויות ידועות למים ויערך מעקב אחר הפירוק שלהן באגן ירוק בנוכחות ובהעדר צמחי מים.



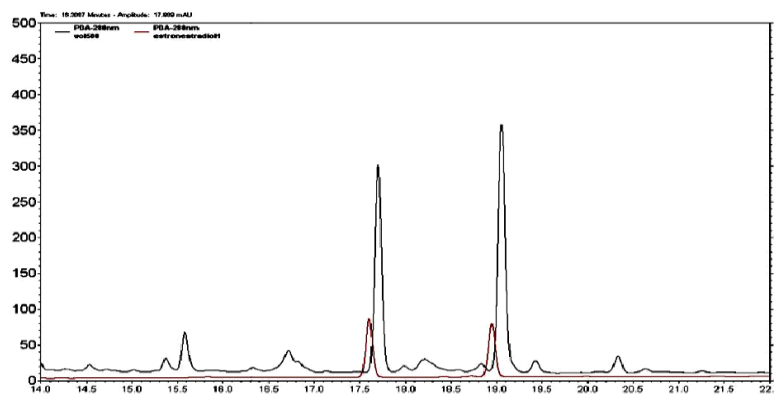
גרף 15. כרומטוגרמת הרצה ב-HPLC-UV של סטנדרט Ciproflaxacin (במתנול), ושלושה ריכוזים של החומר במים.



גרף 16. כרומטוגרמת הרצה ב-HPLC-UV של סטנדרט אסטרדיול (במתנול), ושני ריכוזים שונים של החומר במים.



גרף 17. כרומטוגרמת הרצה ב-HPLC-UV של סטנדרט אסטרון (במתנול), ושני ריכוזים שונים של החומר במים.



גרף 18. כרומטוגרמת הרצה ב-HPLC-UV של סטנדרטים אסטרון ואסטרדיול (במים מזוקקים) אדום לעומת דוגמה של 500 מ"ל מרוכזת שחור ממי קולחין בבריכת השיקוע באגן הירוק בכפר הנוער יוהנה ז'בוטינסקי.

ההרצה מראה כי יש ביכולתנו לרכז ולמצוא את האסטרטגונים במי האגן ולפיכך ניתן לבצע עבודה ניסויית כדי לאפיין השפעת צמחי מים ייחודיים על פירוקם.

#### 1.9. דיון

על סמך הנתונים המוצגים בדו"ח ואשר נסקרו במהלך כל תקופת המחקר הצמחים המתאימים ביותר לפיתוח כצמחי מים ייעודיים לאגנים ירוקים בתנאי הארץ הינם כנת מים, בת קאלה אתיופית ואיריס לואיזיאנה. צמחים אלה מציגים סבילות גבוהה לתנאי הזיהום, צימוח מסיבי, תכונות טיהור טובות של המים ומקדם ריבוי טבעי גבוה. על סמך תצפיות במסגרת פרויקט זה ודיווחים בספרות שילוב מספר מינים באגן הירוק בד"כ מוביל לתוצאות טיהור מים טובות יותר הנגזרות הן מחלוקה טובה יותר של השורשים המאפשרת אוורור וזרימת מים טובה והן מיצירת אוכלוסיה מיקרוביאלית מגוונת יותר (17). הצמחים שנבדקו במסגרת המחקר נבחנו באתרים שונים ולכן לא ניתן היה לנתח את כולם בצורה השוואתית. בבתי צמיחה בעונת החורף, תנאים שהתקיימו בשלושה מהאתרים שנבחנו בתקופת המחקר ניכר היה כי ביצועי צמחי המים שנבדקו (עבקנה מגוון, כנת מים (3 זנים), בת קאלה אתיופית, איריס לואיזיאנה (3 זנים) היו טובים. בוציץ סוככני, תאליה, איריס הסיבירי ופונטדריה התפתחו היטב בעיקר בתקופת האביב והם פחות מתאימים לגידול בתנאי הארץ בעונת החורף. לפיכך הצמחים הרלוונטיים ביותר לפיתוח למטרות יצוא לגינון אגנים ירוקים באירופה וצפון אמריקה הינם כנות (היברידים), בת קאלה אתיופית (זן ננסי) וזנים שונים של איריס לואיזיאנה.

תוצאות ראשוניות שהושגו בעבודה זו מאפשרות לפתח פרוטוקול גידול עבור כל אחד מהגידולים. פיתוח הידולים ליצוא תלוי במידה רבה בהתגברות על מכשולים של הגנת הצומח ולמרות שקיימת התעניינות בגידולים אלה בארה"ב להערכתנו פיתוח מוצלח חייב לכלול ניקוי מוחלט מוירוסים. מגדל שייקח על עצמו ניקוי מוירוס של כל אחד מהגידולים המומלצים בהצעה יכול להערכתנו לזכות להצלחה מסחרית. מערך שולחנות המים נמצא יעיל לבחינת האגן הירוק, ואף השיג תוצאות טובות בשיפור איכויות המים (לא מוצג). מערך הדולבים, שמטרתו לבחון תרומה ייחודית של צמח מים מסוים לטיהור המים באגן הירוק הראה פוטנציאל בקביעת ההבדלים בין צמחים שונים בתרומתם לניקוי המים. התוצאות עד כה לא אפשרו למתג צמח מסוים מתוך כלל הצמחים שנבדקו כ"צמח על" למערכות מים אפורים. ניתן באופן כללי לקבוע כי כנת מים עמידה מאוד באופן יחסי למזהמים ויכולה לגדול ברמות גבוהות יחסית של עומס אורגני ודטרגנטים. כך גם עבקנה מגוון ובת קאלה אתיופית. לאור התוצאות שהתקבלו במערכות שלנו, מצע הטוף הוחלף במצע בזלת והוחלט לקצר את משך סחרור המים בדולבים. ארבעה מיני גיאופיטים שנשתלו במערך שולחנות המים באשל הנשיא (איריס לואיזיאנה, פונטדריה, כנת מים ועבקנה מגוון) הגיבו באופן דומה מבחינת רגישותם למקורות המים השונים (לא מוצג). בכל איכויות המים נצפתה הפחתה במדדי הצימוח בהשוואה למי רשת בתוספת דישון, הפחתה זו היתה מינורית במי הפלט החקלאיים, ומשמעותית יותר במי מדיח ובמי כביסה. חשוב להדגיש שלמרות הירידה במדדי הגידול כל הצמחים פרט לפונטדריה גילו עמידות יחסית לתנאי הזיהום. כיול המערכת להורמונים ולאנטיביוטיקה יאפשר בעתיד לבחון השפעת צמחי מים שונים על הרחקתם ופירוקם במערכת אגן ירוק.

<p>מטרות המחקר לתקופת הדו"ח תוך התייחסות לתוכנית העבודה.  תקופת המחקר הראשונית נועדה להעמדת מערכת מחקרית ולאקלום ראשוני של צמחי מים תוך לימוד פיסולוגי של הצמחים. מטרת אלה הושגו עבור כ-10 מינים וזנים שונים של צמחי מים. תקופת המחקר הוקדשה ללימוד משתני צימוח בחשיפה לסוגים שונים של מים אפורים. בנוסף נלמדה השפעה ייחודית של מיני צמחי נוי שונים על איכות מים במערכת אגן ירוק מעבדתית.</p>
<p>עיקרי הניסויים והתוצאות שהושגו: נבחנו תנאי גידול כמו השפעת תאורה, עומס מזהמים, השפעת מצעי גידול, השפעת עומקי שתילה, על התפתחות הצמחים והוסקו מסקנות. כוילה ופיתוח מערכת להפרדה וזיהוי של גורמים מזהמים מקבוצת האסטרונגים והאנטיביוטיקה ציפרולקסין במים. מסיבות טכניות (תחלופה בכ אדם ומחסור בזמן) לא נבחנה תרומתם הייחודית של צמחים שונים להרחקת מיקרו-מזהמים ממי האגן הירוק.</p>
<p>המסקנות המדעיות וההשלכות לגבי יישום המחקר והמשכו. האם הושגו מטרות המחקר בתקופת הדו"ח. מטרת המחקר לתקופה המחקר הושגו באופן חלקי. הקמת המערכות והתשתיות הנדרשות לגידול צמחי מים וניטור מזהמים במים הינה יקרה הן מבחינת העלות והן מבחינת כח האדם הנדרש. העמדת התשתיות דרשה חלק ניכר מן המשאבים ולא אפשרה להשיג את כל המטרות. אולם התשתיות שהוקמו כולל הכלים האנאליטיים שפותחו במחקר מאפשרים המשך לימוד הצמחים באגן וסיווג התאמתם לשימוש במים מושבים ממקורות שונים.</p>
<p>הבעיות שנתרו לפתרון ו/או השינויים שחלו במהלך העבודה (טכנולוגיים, שיווקיים ואחרים); התייחסות המשך המחקר לגביהן, האם יושגו מטרות המחקר בתקופה שנתורה לביצוע תוכנית המחקר. המחקר רק בתחילתו ויש להרחיבו בהתאם לתוכנית. הקמת התשתיות למחקר דרשה זמן רב מהצפוי ולכן יש לשער שחלק מהנתונים יתקבל רק בשלב מאוחר יותר. כיוון שמדובר בגידולים עונתיים וכרגע המערכת נכנסת לשנת המחקר השנייה עם צמחים, התוצאות המשמעותיות ביותר עדיין לפנינו.</p>
<p>האם הוחל כבר בהפצת הידע שנוצר בתקופת הדו"ח - <b>יש לפרט</b>: פרסומים – כמקובל בביבליוגרפיה, פטנטים - יש לציין מס' פטנט, הרצאות וימי עיון - יש לפרט מקום ותאריך. החומר עדיין לא פורסם.</p>
<p>פרסום הדו"ח: אני ממליץ לפרסם את הדו"ח: (סמן אחת מהאופציות)</p>
<p>◀ ללא הגבלה (בספריות ובאינטרנט)</p>

## 2.0 ביבליוגרפיה

1. **Belmont, M. A., and C. D. Metcalfe.** 2003. Feasibility of using ornamental plants (*Zantedeschia aethiopica*) in subsurface flow treatment wetlands to remove nitrogen, chemical oxygen demand and nonylphenol ethoxylate surfactants - a laboratory-scale study. *Ecological Engineering* **21**:233-247.
2. **Brisson, J., and F. Chazarenc.** 2008. Maximizing pollutant removal in constructed wetlands: Should we pay more attention to macrophyte species selection? *Sci Total Environ.*
3. **Della Greca, M., M. Ferrara, A. Fiorentino, P. Monaco, and L. Previtera.** 1998. Antialgal compounds from *Zantedeschia aethiopica*. *Phytochemistry* **49**:1299-1304.

4. **Gagnon, V., F. Chazarenc, Y. Comeau, and J. Brisson.** 2007. Influence of macrophyte species on microbial density and activity in constructed wetlands. *Water Sci Technol* **56**:249-54.
5. **Group, T. A. P.** 2003. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG II. *Bot. J. Linnean Soc.* **141**:399-436.
6. **Konnerup, D., and H. Brix.** 2010 .Nitrogen nutrition of *Canna indica*: Effects of ammonium versus nitrate on growth, biomass allocation, photosynthesis, nitrate reductase activity and N uptake rates. *Aquatic Botany* **92**:142-148.
7. **Mang, X. B., P. Liu, Y. S. Yang, and W. R. Chen.** 2007. Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. *Journal of Environmental Sciences-China* **19**:902-909.
8. **Mikryakova, T. F.** 2002. Accumulation of Heavy Metals by Macrophytes at Different Levels of Pollution of Aquatic Medium .*Water Resources* **29**:230-232.
9. **Powell, M. G., B. L. Dallemund, and K. R. Mankin** 1998, posting date. Rock-Plant Filter Design and Construction for Home Wastewater Systems. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. [Online].
10. **Stottmeister, U., A. Wiessner, P. Kusch, U. Kappelmeyer, M. Kastner, O. Bederski, R. A. Muller, and H. Moormann.** 2003. Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnol Adv* **22**:93-117.
11. **Wallach, R., O. Ben-Arie, and E. R. Graber.** 2005. Soil water repellency induced by long-term irrigation with treated sewage effluent. *J Environ Qual* **34**:1910-20.
12. **Wiel-Shafran, A., Z. Ronen, N. Weisbrod, E. Adar, and A. Gross.** 2006. Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater. *Ecological Engineering* **26**:348-354.
13. **Ye, Z. H., Z. Q. Lin, S. N. Whiting, M. P. de Souza, and N. Terry.** 2003. Possible use of constructed wetland to remove selenocyanate, arsenic ,and boron from electric utility wastewater. *Chemosphere* **52**:1571-9.
14. **Zhang, X. B., P. Liu, Y. S. Yang, and W. R. Chen.** 2007. Phytoremediation of urban wastewater by model wetlands with ornamental hydrophytes. *J Environ Sci (China)* **19**:902-9.
15. **Zurita ,F., M. A. Belmont, J. De Anda, and J. Cervantes-Martinez.** 2008. Stress detection by laser-induced fluorescence in *Zantedeschia aethiopica* planted in subsurface-flow treatment wetlands. *Ecological Engineering* **33**:110-118.
16. **Zurita, F., J. de Anda, and M .A. Belmont.** 2006. Performance of laboratory-scale wetlands planted with tropical ornamental plants to treat domestic wastewater. *Water Quality Research Journal of Canada* **41**:410-417.
17. **Zurita, F., J. De Anda, and M. A. Belmont.** 2009. Treatment of domestic wastewater and production of commercial flowers in vertical and horizontal subsurface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering* **35**:861-869.